

Análisis y estudio de diferentes tipos de uniones soldadas para su optimización y mejora

Trabajo Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Cataluña

Trabajo realizado por:
Álvaro Vilda Muxi

Dirigido por:
Jordi Torralbo Gavilán

Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 31 de Enero 2020

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia y pareja todos estos años de apoyo, paciencia y ayuda, al permitirme estudiar sin ningún tipo de presión ya que sin ellos nunca hubiese conseguido estar en la etapa final de mis estudios.

También he de agradecer a mi tutor Jordi Torralbo que desde el primer día me ayudo a enfocar el trabajo de la manera adecuada, siempre ha estado dispuesto a encontrar un hueco para quedar y ayudar cuando le he enviado mails, que no han sido pocos. Ya que, sin su ayuda y supervisión, el trabajo no hubiese contado con el rigor necesario en este tipo de trabajos.

Por último, agradecer a mi primo Marc Muxi Pascual la ayuda prestada en la parte práctica, de lo contrario no habría sido posible realizar este trabajo. Puesto que como soldador profesional ha tenido acceso a maquinaria, gran variedad de consumibles e información que de otro modo hubiese sido muy difícil obtener. Además de realizar la gran mayoría de soldaduras analizadas.

Resumen

En el sector de la industria, uno de los métodos de construcción y unión de materiales más extendido y consolidado es la soldadura, pero existen infinidad de variantes y procesos, en los cuales hay muchos aspectos a tener en cuenta como: material a soldar, posiciones, gases, dificultad operacional, etc.

El trabajo nace de la necesidad de cerrar y clarificar el amplio abanico que hay dentro del campo de la soldadura y que tiene como objetivo analizar y comparar sus principales procesos, encontrar los puntos fuertes y las desventajas, para finalmente optimizar su uso en función de las necesidades.

Ya existen muchos trabajos en el ámbito de la soldadura, con el objetivo de diferenciar este trabajo de otros, se ha querido hacer una parte teórica donde encontrar los conceptos más importantes a tener en cuenta en la soldadura, como; clasificaciones, normativa, procesos y seguridad, entre otros aspectos, pero de una forma más visual, esquemática y resumida posible.

La segunda parte de este trabajo es la práctica, en la que se realizarán una serie de pruebas con los principales procesos de soldeo con distintos metales, tomando una serie de datos antes de la soldadura, para tener todos los parámetros controlados. Una vez realizada cada prueba se registrarán los resultados obtenidos con el fin de realizar un estudio económico del coste de cada soldadura, comparar resultados entre ellas con el objetivo de mejorar su rendimiento y reducir costes.

Finalmente, se extraerán una serie de valoraciones y conclusiones, sobre los datos obtenidos gracias a las pruebas realizadas y a la extrapolación de datos.

Abstract

In the industrial sector, one of the most widespread and consolidated methods of construction and joining of materials is welding, but there are countless variants and processes. In which there are many aspects to take care as: material to be welded, positions, gases, operational difficulty.

The work seeks to close a little that wide range that exists within the welding, since it aims to analyze and compare the main welding processes, find their strengths and disadvantages, to finally optimize their use according to our needs.

There are already many works in the field of welding, with the aim of differentiating this work from others, we have wanted to make a theoretical part where the most important concepts to be taken into account in welding, such as; classifications, regulations, processes and security, among other aspects, but in the most visual, schematic and summary way possible.

The second part of this work is the practical part, in which a series of tests will be carried out with the main welding processes and different metals, taking a series of data before welding, to have all the parameters controlled. Once each test has been completed, the results obtained will be recorded in order to carry out an economic study of the cost of each weld, compare results between them in order to improve performance and reduce costs.

Finally, a series of assessments and conclusions will be extracted, on the data obtained thanks to the tests carried out and the extrapolation of data.

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	ii
Resumen	iii
Abstract.....	iv
Listado de figuras.....	vii
Listado de tablas.....	x
Listado de acrónimos	12
Capítulo 1. Introducción a la Soldadura	13
1.1 Vocabulario glosario.....	14
1.2 Historia de la Soldadura	15
1.3 Clasificación de la soldadura y procesos de soldeo según la ISO y la AWS.....	20
1.3.1 Procesos de Soldeo por fusión	21
1.3.2 Procesos de Soldeo en estado sólido	22
1.3.3 Procesos de soldeo fuerte y blando	27
1.4 Seguridad en los procesos de soldadura.....	31
1.4.1 Higiene y equipamiento.	32
1.4.2 Cualificación / Homologación de los soldadores.	40
Capítulo 2. Procesos de Soldadura por arco eléctrico.....	43
2.1. Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)	46
2.2. Soldadura por arco con gas inerte y electrodo de Tungsteno (GTAW).....	56
2.3. Soldadura por arco metálico con protección de gas (GMAW).....	68
Capítulo 3. Tipos de uniones	76
3.1 Simbología de la soldadura.....	76
3.2 Posiciones de soldeo.	81
3.3 Preparación de los bordes	86
3.3.1 Preparación de bordes en “V”	87
3.3.2 Preparación de bordes en “U”	90
3.3.3 Otros tipos de preparación de bordes.	92
Capítulo 4. Parte Práctica: Pruebas de soldadura.....	95
4.1 Introducción de la parte práctica.	95
4.2 Descripción elementos empleados.	96
4.2.1 Materiales	96
4.2.2 Maquinaria	97
4.2.3 Gases y electrodos revestidos.....	100
4.3 Pruebas Soldadura.	102
4.3.1 Prueba1: Soldadura TIG, unión Acero Inoxidable.	105

4.3.2 Prueba 2: Soldadura TIG, unión Acero al carbono e Inox.	106
4.3.3 Prueba 3: Soldadura MAG, unión Acero al carbono.	107
4.3.4 Prueba 4: Soldadura MAG, unión Acero Inoxidable.....	108
4.3.5 Prueba 5: Soldadura MAG, unión Acero al carbono e Inox.....	109
4.3.6 Prueba 6: Soldadura SMAW, unión Acero electrodo Ø 2,5.....	110
4.3.7 Prueba 7: Soldadura SMAW, unión Acero electrodo Ø 3,2.....	111
4.3.8 Prueba 8: Soldadura SMAW, unión Acero electrodo Ø 3,2 Inv.....	112
4.3.9 Prueba 9: Soldadura SMAW, unión Acero Inoxidable.....	113
4.3.10 Prueba 10: Soldadura SMAW, unión Acero al carbono e Inox.....	114
4.3.11 Prueba 11: Soldadura SMAW, unión Acero alto rendimiento.	115
4.3.12 Prueba 12: Soldadura SMAW, unión Acero por no profesional.....	116
4.4 Observaciones generales de las pruebas.....	117
4.4.1 Comparación entre soldar con electrodo revestido en diferentes polaridades. Prueba 7 y Prueba 8.	118
4.4.2 Comparación de la misma soldadura realizada por un profesional y un iniciado. Pruebas 6 y Prueba 12.	120
4.5 Análisis económico.	122
4.5.1. Costes de soldadura.	122
4.5.2. Gasto total en soldar 10 metros, proceso TIG.....	124
4.5.3. Gasto total en soldar 10 metros, proceso MAG.....	126
4.5.4. Gasto total en soldar 10 metros, proceso SMAW.....	128
4.5.5 Análisis conjunto.	130
Capítulo 5. Conclusiones.....	133
Bibliografía	135
Anexo 1: Glosario.....	139

Listado de figuras

Capítulo 1. Introducción a la soldadura.

Figura 1. Utensilios de cobre y mascara de oro de la edad del cobre. Fuente: Historeando.org	16
Figura 2. Soplete a nafta del año 1930. Fuente: Libremercado.com	17
Figura 3. Clasificación procesos de soldeo por fusión. Fuente: AWS A3.0.....	22
Figura 4. Clasificación de procesos de soldeo en estado sólido. Fuente: AWS A3.0	23
Figura 5. Soldadura por fricción. fuente:Youtube canal de Aioros Dokho.....	24
Figura 6. Proceso de soldadura por rodillos. Fuente: Universidad del Bio-Bio de Chile	27
Figura 7. Clasificación de procesos de soldeo fuerte y blando. Fuente: AWS A3.0.	28
Figura 8. Accidentes laborales por sector. Fuente: Ministerios de trabajo.	32
Figura 9. Clasificación de los riesgos en la soldadura según su origen. Fuente: Propia.....	33
Figura 10. Diferentes tipos de gafas para la soldadura. Fuente: Amazon.....	36
Figura 11. Test de certificación real según la ISO 9096. Fuente: Jordi Torralbo Gavilán.	41

Capítulo 2. Procesos de soldadura por arco eléctrico.

Figura 12. Zonas que componen el arco eléctrico. Fuente: web flickr, usuario ISM9	44
Figura 13. Representación del proceso de soldeo por electrodo revestido. Fuente: ESAB	46
Figura 14. Efecto de los principales parámetros de soldeo en el cordón. Fuente: CESOL.....	50
Figura 15 Esquema y foto de las partes del equipo SMAW. Fuente: ventageneradores.net	51
Figura 16. Características soldadura SMAW. Fuente: Propia.....	55
Figura 17. Esquema del proceso de soldeo TIG/GTAW. Fuente: Equipos y soldaduras RAFE.	56
Figura 18. Esquema componentes que forman el equipo de soldeo TIG	59
Figura 19. Dibujo de los componentes del porta electrodo para soldadura TIG. Fuente: Slevi1.mit.edu.	60
Figura 20 Clasificación de las Varillas consumibles. Fuente: AWS	61
Figura 21. Gases de protección inertes y sus combinaciones. Fuente: Manual del soldador	62
Figura 22. Características del cordón en función del gas empleado. Fuente: CESOL	62
Figura 23.Características soldadura GTAW. Fuente: Propia	67
Figura 24. Representación del proceso de soldeo por GMAW. Fuente: ILMO	68
Figura 25. Esquema del equipo MIG/MAG. Fuente: Universidad Autónoma de Coahuila.	72
Figura 26. Partes de un soplete MIG/MAG. Fuente: Albertourquia.blogspot	73

Figura 27. Características soldadura GMAW. Fuente: Propia	75
---	----

Capítulo 3. Tipos de uniones.

Figura 28. Diseño de uniones más habituales en soldadura. Fuente: web tecnología-técnica.	76
Figura 29. Símbolo de soldeo básico. Fuente: ISO 2553.....	77
Figura 30. Indicador de soldadura en el campo y continua alrededor de la unión. Fuente: ISO 2553.	77
Figura 31. Posiciones principales de soldadura. Fuente: ISO 6947.	81
Figura 32. No preparación de bordes para espesores < 8mm según ISO9692. Fuente: ISO9692.....	87
Figura 33. Preparación en V simple. Fuente: ISO 9692	88
Figura 34. Preparación en V doble con talón de raíz amplio. Fuente: ISO 9692	89
Figura 35. Preparación de bordes en V doble simétrica y asimétrica. Fuente: ISO 9692.	90
Figura 36. Preparación de bordes en U simple y doble. Fuente: ISO 9692	91
Figura 37. Preparación bisel simple y bisel doble. Fuente: ISO 9692	92
Figura 38. Preparación de bordes en J simple. Fuente: ISO 9692	93
Figura 39. Preparación de bordes en J doble. Fuente ISO 9692.....	94

Capítulo 4. Parte práctica: Pruebas de soldadura.

Figura 40. No preparación de bordes para espesores < 8mm según ISO9692. Fuente: ISO9692.....	96
Figura 41. Probetas de Acero al carbono e Inoxidables para las pruebas. Fuente: Propia	96
Figura 42. Maquinas empleadas en las pruebas. Fuente: sincosald.it y ims-welding.com.....	97
Figura 43. Máquina de soldadura TIG empleada para las pruebas. Panel de control. Fuente: Propia.	97
Figura 44. Maquina soldadura MAG empleada en las pruebas y placa de características.	98
Figura 45. Maquina electrodo revestido. Fuente: Propia.....	99
Figura 46. Placa de características de la máquina. Fuente: Propia.	99
Figura 47. Gases empleados para las pruebas realizadas en TIG y MIG/MAG. Fuente: Propia	100
Figura 48. Diferentes tipos de electrodos que se utilizaran en las pruebas. Fuente: Propia	101
Figura 49. Parámetros de soldadura analizados en las pruebas. Fuente: Propia.....	104
Figura 50. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 1. Fuente: Propia.	105
Figura 51. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 2. Fuente: Propia.	106
Figura 52. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 3. Fuente: Propia.	107
Figura 53. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 4. Fuente: Propia.	108
Figura 54. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 5. Fuente: Propia.	109
Figura 55. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 6. Fuente: Propia.	110

Figura 56. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 7. Fuente: Propia.....	111
Figura 57. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 8. Fuente: Propia.....	112
Figura 58. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 9. Fuente: Propia.....	113
Figura 59. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 10. Fuente: Propia.....	114
Figura 60. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 11. Fuente: Propia.....	115
Figura 61. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 12. Fuente: Propia.....	116
Figura 62. Fotografías del corte transversal de las probetas 7 y 8. Fuente: Propia.	119
Figura 63. Fotografías de ambos cortes de cada probeta ampliados. Fuente: Propia.....	119
Figura 64. Fotografías de los cordones de soldadura de las pruebas 6 y 12. Fuente: Propia.	120
Figura 65. Fotografías transversales de las probetas, se aprecia la inclinación. Fuente: Propia.	121
Figura 66. Desglose del precio en Soldadura TIG. Fuente: Propia	125
Figura 67. Desglose del precio en Soldadura MAG. Fuente: Propia.....	127
Figura 68. Desglose del precio en Soldadura Electrodo revestido. Fuente: Propia	129
Figura 69. Costes por proceso y por metales, para soldar 10 metros. Fuente: Propia	130
Figura 70. Progresión de costes por procesos según metales. Fuente: Propia.....	131
Figura 71. Progresión de tiempo invertido por proceso y metal. Fuente: Propia.....	132

Listado de tablas

Capítulo 1. Introducción a la soldadura.

Tabla 1. Clasificación de los principales procesos de soldadura EN ISO 4063. Fuente: Norma ISO 4063..	21
Tabla 2. Clasificación de los procesos de Soldeo fuerte/blando ISO 4063. Fuente: Norma ISO 4063	28
Tabla 3. Diferencias entre soldeo fuerte/blando y soldeo por fusión. Fuente: CESOL	30
Tabla 4. Guía para la selección de la densidad del filtro. Fuente: Norma UNE EN 169.....	37

Capítulo 2. Procesos de soldadura por arco eléctrico.

Tabla 5. Comparativa de las características de soldeo en CC y CA. Fuente: Manual del soldador	47
Tabla 6. Comparativa entre maquinas tradicionales e Inverter. Fuente: Propia	52
Tabla 7. Principales símbolos de las máquinas de soldeo. Fuente: UNE 60974.....	52
Tabla 8. Características de los electrodos revestidos más comunes. Fuente: Propia	54
Tabla 9. Características de soldeo de cada corriente. Fuente: CESOL	57
Tabla 10. Componentes que forman la fuente de energía para CC y CA. Fuente: Propia.	60
Tabla 11. Propiedades físicas y químicas de los gases de protección. Fuente: ISO 14175.	64
Tabla 12. Clasificación de gases para el soldeo por fusión y técnicas afines. Fuente ISO 14175.....	65
Tabla 13. Propiedades de los gases de protección activos. Fuente: SITASA	71

Capítulo 3. Tipos de uniones.

Tabla 14. Simbología de los procesos de soldadura. Fuente: UNE-EN IEC 60974-1.....	78
Tabla 15. Símbolos elementales. Fuente: ISO 2553.	79
Tabla 16. Designación de las posiciones de soldeo según las normas ISO 6947 y AWS A3.0.	82
Tabla 17. Leyenda de símbolos para la preparación de bordes. Fuente: AENOR ISO 9692	87

Capítulo 4. Parte práctica: Pruebas de soldadura.

Tabla 18. Designación por colores y metales a soldar según el proceso. Fuente: Propia.....	95
Tabla 19. Parámetros prueba 1. Fuente: Propia.....	105
Tabla 20. Análisis del proceso después de realizar la prueba 1. Fuente: Propia.....	105
Tabla 21. Parámetros prueba 2. Fuente: Propia.	106
Tabla 22. Análisis del proceso después de realizar la prueba 2. Fuente: Propia.....	106
Tabla 23. Parámetros prueba 3. Fuente Propia.....	107
Tabla 24. Análisis del proceso después de realizar la prueba 3. Fuente: Propia.....	107
Tabla 25. Parámetros prueba 4. Fuente: Propia.	108

Tabla 26. Análisis del proceso después de realizar la prueba 4. Fuente: Propia.	108
Tabla 27. Parámetros prueba 5. Fuente: Propia.	109
Tabla 28. Análisis del proceso después de realizar la prueba 5. Fuente: Propia.	109
Tabla 29. Parámetros prueba 6. Fuente: Propia.	110
Tabla 30. Análisis del proceso después de realizar la prueba 6. Fuente: Propia.	110
Tabla 31. Parámetros prueba 7. Fuente: Propia.	111
Tabla 32. Análisis del proceso después de realizar la prueba 7. Fuente: Propia.	111
Tabla 33. Parámetros prueba 8. Fuente: Propia.	112
Tabla 34. Análisis del proceso después de realizar la prueba 8. Fuente: Propia.	112
Tabla 35. Parámetros prueba 9. Fuente: Propia.	113
Tabla 36. Análisis del proceso después de realizar la prueba 9. Fuente: Propia.	113
Tabla 37. Parámetros prueba 10. Fuente: Propia.	114
Tabla 38. Análisis del proceso después de realizar la prueba 10. Fuente: Propia.	114
Tabla 39. Parámetros prueba 11. Fuente: Propia.	115
Tabla 40. Análisis del proceso después de realizar la prueba 11. Fuente: Propia.	115
Tabla 41. Parámetros prueba 12. Fuente: Propia.	116
Tabla 42. Análisis del proceso después de realizar la prueba 12. Fuente: Propia.	116
Tabla 43. Comparativa de características según el proceso. Fuente: Propia.....	118
Tabla 44. Factores para el cálculo del precio final TIG. Fuente: Propia	124
Tabla 45. Factores para el cálculo del precio final MAG. Fuente: Propia.....	126
Tabla 46. Factores para el cálculo del precio final Electrodo revestido. Fuente: Propia	128

Listado de acrónimos

La lista recoge los acrónimos que van apareciendo durante todo el trabajo, por orden de aparición.

- ISO: Organización Internacional de Estandarización (International Organization for Standardization)
- AWS: Sociedad Americana de Soldadura.
- ADESOL: Asociación Española para el Desarrollo de la Soldadura
- CES: Centro Español de Soldadura y Tecnologías de Unión
- CESOL: Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión. La unión de las dos anteriores.
- CEN: Comité Europeo de Normalización.
- EWF: Federación Europea de Soldadura (European Federation of Welding)
- IIW, Instituto Internacional de Soldadura (International Institute of Welding)
- R.A.E. Real Academia Española.
- CA: Corriente Alterna.
- CC: Corriente Continua.
- TIG: Tungsteno Gas Inerte (Proceso de soldadura)
- MIG: Metal Gas Inerte (Proceso de soldadura)
- MAG: Metal Gas Activo (Proceso de soldadura)
- USW: Soldadura Por Ultra Sonidos (Ultrasonic Welding)
- DFW: Soldadura por Difusión (Diffusion Welding)
- ROW: Soldadura por Rodillos (Roll Welding)
- SST: Seguridad y Salud en el Trabajo.
- UV: Ultra Violeta.
- EPI: Equipo de Protección Individual.
- UNE: Una Norma Española.
- CTN: Comités Técnicos de Normalización.
- AENOR: Asociación Española de Normalización.
- EN: Norma Europea (European Norm)
- SMAW: Soldadura por electrodo Revestido (Shielded Metal Arc Welding)
- GTAW: Soldadura por Gas con electrodo de Tungsteno (Gas Tungsten Arc Welding)
- GMAW: Soldadura Metálica de Gas por Arco (Gas Metal Arc Welding)

Capítulo 1. Introducción a la Soldadura

Los procesos de soldadura están regulados a nivel internacional por una gran cantidad de normas, que irán apareciendo a lo largo del trabajo, elaboradas por la ISO, Organización Internacional de Estandarización. Otro organismo regulador muy importante al que también se hará mención es la AWS, Sociedad americana de soldadura. Puesto que es la de Estados Unidos, sus decisiones tienen mucho peso a nivel internacional.

Para hablar de soldadura en España es necesario hacer una presentación del CESOL (Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión), puesto que se mencionará durante todo el trabajo y servirá como gran fuente de datos, figuras e información necesaria.

CESOL es una asociación de profesionales y empresas, independiente y sin ánimo de lucro, al servicio del soldeo y demás tecnologías de unión, en la que pueden participar todas cuantas personas físicas y / o jurídicas estén interesadas en los fines de la misma. Fue creada en 1993, es el resultado de la fusión de ADESOL, Asociación Española para el Desarrollo de la Soldadura, creada en 1977, y CES, Centro Español de Soldadura y Tecnologías de Unión, creado en 1988.

CESOL mantiene relaciones permanentes con prácticamente todas las asociaciones e institutos nacionales con similares características en todo el mundo, bien directamente o a través de las organizaciones:

- EWF, Federación Europea de Soldadura (European Federation of Welding), de la que es miembro.

- IIW, Instituto Internacional de Soldadura (International Institute of Welding), aportando uno de los representantes nacionales en sus órganos de gobierno.

La ISO define la soldadura como *“Proceso de unión en el que dos o más piezas se unen produciendo una continuidad en la naturaleza de los materiales de las piezas*

por medio de calor o presión, o ambas cosas, y con o sin la utilización de material de aportación”.

Al intervenir los cinco elementos que definen a un sistema, la soldadura es considerada como tal, puesto que para llevarla a cabo se necesita mano de obra, material con el que trabajar, maquinaria o equipo, así como un ambiente adecuado para realizarla y seguir unos procedimientos.

Hay diferentes fuentes de energía para conseguir llegar a fundir el material que se quiere soldar, las más utilizadas son las siguientes: arco eléctrico, llama de gas, rayo de electrones, procesos de fricción, procesos de ultrasonidos.

1.1 Vocabulario glosario.

Puesto que el trabajo es bastante técnico y se utiliza un vocabulario, jerga profesional del sector, es necesario incluir un glosario en el cual se definirán una serie de palabras y conceptos que ayudarán en el seguimiento del trabajo y a la comprensión de los procesos de soldadura y palabras técnicas.

Las definiciones empleadas han sido obtenidas de organismos reconocidos como son la ISO, específicamente detalladas en la norma 14599⁽¹⁾, elaboradas por el CEN que es el comité europeo de normalización y traducidas al castellano por el CESOL Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión, AWS American Welding Society. Las definiciones están ordenadas en orden alfabético para facilitar la búsqueda en el glosario.

La norma 14599 está formada por más de 70 páginas que incluyen definiciones en diferentes idiomas, es por ello que el glosario solo incluye las palabras que se han considerado más importantes reduciendo considerablemente la cantidad de páginas, de todos modos, siguen siendo una cantidad considerable por lo que finalmente se ha decidido incluir este glosario en el anexo 1 para no entorpecer la lectura del trabajo.

1.2 Historia de la Soldadura

El ser humano históricamente se ha definido como una especie curiosa en continua evolución, sin parar de descubrir y crear nuevos elementos como casas, ciudades, puentes, embarcaciones, etc. Todo eso es fruto de su curiosidad, capacidad de innovar, avanzar y buscar nuevas soluciones a los problemas y retos que van surgiendo.

En la sociedad actual y si nos centramos en el sector de la ingeniería, se hace impensable no construir sin utilizar métodos de soldadura, estos procesos están muy integrados en la sociedad, aunque no siempre se sea capaz de reconocerlos. Para llegar a este punto han tenido que pasar muchos años incluso siglos de innovaciones, descubrimientos y mejoras, de eso es de lo que se hablará en este apartado. Como el ser humano ha sabido ir resolviendo los problemas con los que se ha encontrado hasta llegar a dominar las técnicas de la soldadura, ya sea para piezas muy pequeñas como microchips o estructuras tan grandes como son los buques petroleros.

La necesidad de construir del hombre nace desde los primeros años, primero amontonando piedras, luego utilizando madera y otros elementos naturales fáciles de encontrar a simple vista. Se han encontrado objetos egipcios y sumerios formados con soldadura fuerte, alrededor del año 2.700 a.C. tales como piezas de joyería, utensilios y tubos de cobre unidos mediante este proceso con plata fundida.

Pero las primeras pruebas que tenemos de diferentes piezas de metal unidas en una sola, son un grupo de pequeñas cajas de oro que datan de alrededor del año 1.200 a.C., en la edad de bronce.

Con el paso del tiempo se han ido encontrando signos de puntas de lanzas, flechas y algunos utensilios menores creados a partir del bronce, pero como una única pieza o bien unida a otro material como madera en forma de mango, sin ser capaces de unir dos piezas metálicas.

Una de las primeras técnicas de soldeo sería la del soldeo de plata por percusión, esta necesita calentarse hasta los 500°C y una vez alcanzada dicha temperatura hay que trabajarla sobre un yunque a base de impactos para conseguir la unión. Los objetos más antiguos encontrados soldados por esta técnica se datan entre los IV-V a.C.



Figura 1. Utensilios de cobre y mascara de oro de la edad del cobre. Fuente: Historeando.org

El hierro ha sido soldado a forja por el hombre desde los primeros años de la edad de hierro hacia los siglos X-IX A.C. Existían civilizaciones como la Romana o la griega que fabricaban sus espadas mediante esta técnica, que consiste en calentar las piezas de hierro a unir, por encima de los mil grados centígrados y una vez se encuentren en estado pastoso, se ponen en contacto y se golpean de este modo se expulsa el óxido de la unión y se les da forma una vez enfriado se obtiene una unión permanente.

Fueron pasando los años y las técnicas de construcción fueron avanzando, pero el soldeo tal y como lo conocemos hoy en día empezó a elaborarse a finales del siglo XIX y principios del XX que se desarrolló el soldeo por fusión y se desarrolla el soldeo oxiacetilénico, así como el soldeo por arco eléctrico y el soldeo por resistencia. Esto se debió a la disposición industrial de fuentes de calor lo suficiente intensas como para producir la fusión en los bordes de las piezas a unir.

Desde ese momento en adelante se fueron perfeccionados estos procesos de soldadura mencionados. El primer proceso en ser aplicado a escala industrial y mejor desarrollado de los tres, fue el soldeo oxiacetilénico. Ya que en el año 1835 el inglés E. Davey, descubrió el gas acetileno y en el año 1916 ya era un proceso completamente eficaz para realizar soldaduras por fusión de calidad en chapas de cierto espesor para metales como acero, cobre y aluminio. Esto es debido al abastecimiento a una escala industrial del oxígeno, hidrogeno y acetileno a un precio significativamente bajo que llegó sobre el 1892 cuando T. L. Wilson desarrollo un método de fabricación más barato. También fue necesario descubrir la combustión del oxígeno con el acetileno en el 1895 por parte de H.E Chatelier y cinco años después la creación de sopletes adecuados en el 1900 por los franceses F. Picard y E. Fouch para trabajar esta técnica, así como la de la utilización y buen almacenamiento de los gases necesarios en ella.



Figura 2. Soplete a nafta del año 1930. Fuente: Libremercado.com

Para llegar a las técnicas de soldeo por arco eléctrico, el proceso fue más lento y costoso ya que ha sido una técnica que se ha ido desarrollando gradualmente con el paso de los años y de los siguientes acontecimientos.

En el año 1801 Sir Humphrey Davy descubrió que se podía generar y mantener un arco eléctrico entre dos terminales, siendo estos uno negativo y otro positivo. El

descubrimiento no fue presentado a la comunidad científica hasta el año 1808. Pero no fue hasta muchas décadas después, en el año 1881 que se realizó la primera soldadura de piezas metálicas por parte de Auguste De Meritens utilizando un arco eléctrico entre carbones.

Aunque hay versiones que dicen que la primera soldadura realizada utilizando la electricidad como fuente de energía, la realizó el profesor de física experimental de la universidad alemana de Gotinga, Georg Christoph Lichtenberg en el año 1782, este hecho se refleja en una carta enviada a su amigo J.A.H Reinmarius, en la carta se describe a la perfección el método utilizado para unir una bobina de un reloj a un cortaplumas mediante electricidad, de una forma muy similar al arco eléctrico.

En el 1885 los rusos S. Olczewski y F. Bernardos consiguieron soldar piezas metálicas mediante la fusión producida de las partes, que al enfriarse quedaban unidas de forma permanente. Para este proceso utilizaron corriente continua, que generaba un arco eléctrico entre el polo positivo, una varilla de carbono y las piezas a unir como polo negativo.

En el 1889 el físico alemán H. Zerener fue el primero en realizar estudios sobre cómo afectaría al arco, por aquel entonces irregular y difícil de controlar, el hecho de añadir un electro imán. Esto produce un campo magnético y de esta forma se puede dirigir y regular el arco eléctrico.

Los primeros aparatos de soldadura similares a los que hoy en día utilizamos aparecen en el 1891 de la mano del ingeniero N. Slavianoff, que empezó a utilizar electrodos de hierro sin revestimiento, sustituyendo a electrodos de carbón. Esto supuso una gran mejora en las uniones, ya que así se impide la entrada de partículas de carbón dentro de la masa de fluido, que aportaban los mismos electrodos.

Para solucionar el problema de la oxidación de los electrodos debido a la acción de la atmosfera sobre ellos, que hasta el momento no estaban revestidos, se pensó en utilizar metanol como gas protector para eliminar el oxígeno que rodea el arco, pero el equipamiento necesario para su uso no lo hacía aplicable.

El revestimiento de los electrodos parecido al utilizado actualmente surgió en el 1907 de la idea de O. Kjellberg de recubrir los electrodos con un aglomerado de

material refractario con el mismo punto de fusión que el material de aportación. Rápidamente se empezaron a desarrollar tecnologías para un sistema de electroescoria, en el año 1914 el mismo Kjellberg ya utilizaba varillas de aportación metálicas con un revestimiento a base de asbesto.

La tecnología cada vez avanza más rápido y se crean nuevos procesos o mejoras de los ya existentes, por eso en el 1930 los americanos P.K. Devers y H.M Hobart desarrollan el sistema de soldadura por gas inerte. El sistema TIG (tungsten inert gas) aparece por primera vez en el año 1942 desarrollado por el norteamericano R. Meredith.

El último de los sistemas actuales más conocidos y utilizados en la industria, el sistema MIG de las siglas en ingles *Metal Inert Gas*, fue desarrollado en el año 1948. Este proceso es uno de más sencillos de utilizar y no necesita varillas o electrodos que deban ser sustituidos, puesto que el material de aporte, el alambre, está almacenado en una bobina y se va suministrado continuamente a través de la pistola de soldadura.

Siempre se busca ir mejorando los procesos de soldadura que han ido apareciendo a lo largo del tiempo. Actualmente se está invirtiendo más en optimizar los procesos ya existentes que en tratar de encontrar procesos nuevos. Puesto que los actuales ya están muy estudiados desde hace años y están muy controlados en sus campos de aplicación. Se buscan mejoras en cuanto a la robotización, maquinas más ligeras, baratas y fáciles de manejar, así como en el campo de nuevas aleaciones o materiales no metálicos.

Seguro que aparecerán procesos de soldadura que ahora mismo no llegamos ni a imaginarnos, o realizar soldaduras en condiciones y lugares que a día de hoy parecen imposibles. De la misma forma que los primeros hombres trabajaron el metal y consiguieron cosas inimaginables, el hombre contemporáneo también lograra metas jamás pensadas gracias a la tecnología.

1.3 Clasificación de la soldadura y procesos de soldeo según la ISO y la AWS.

En cuanto a normativa internacional hay dos grandes referentes que debemos mencionar al hablar de soldadura, ya que cada uno de estos organismos tiene sus propias formas de tipificar o clasificar las soldaduras.

Empezando por UNE-EN ISO concretamente la que se ocupa de la clasificación de la soldadura es la ISO 4063⁽²⁾. UNE-EN ISO son los acrónimos de:

-UNE: Los documentos normativos UNE (acrónimo de Una Norma Española) son un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

-EN: se utiliza en el caso de adopción de normas europeas o internacionales, se añade el prefijo UNE- a la codificación, es la adopción nacional de la norma europea (EN)

-ISO: Del inglés, International Organization for standardization. Fundada en el 1947 es la organización internacional de normalización, independiente y no-gubernamental. Formada por las organizaciones de estandarización de sus 163 países miembros, se dedica a la creación de estándares internacionales.

Los procesos de soldeo se pueden separar en tres grandes grupos que son:

- Procesos de soldeo por fusión.
- Procesos de soldeo en estado sólido.
- Procesos de soldeo fuerte y blando.

La norma internacional EN ISO 4063 identifica cada proceso con un número de referencia. El número de referencia de cualquier proceso está compuesto de tres dígitos como máximo. Los principales grupos de procesos se identifican con un único dígito, los grupos con dos dígitos y finalmente los subgrupos se identifican con tres.

Tabla 1. Clasificación de los principales procesos de soldadura EN ISO 4063. Fuente: Norma ISO 4063.

Nº Referencia	Designación	Nº Referencia	Designación
1	Soldeo por arco	14	Soldeo con protección gaseosa y electrodo no consumible
11	Soldeo por arco sin protección gaseosa y electrodo de aporte	141	Soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio, TIG
111	Soldeo por arco con electrodo revestido	15	Soldeo por arco de plasma
12	Soldeo por arco sumergido	151	Soldeo MIG por arco plasma
131	Soldeo por arco con gas inerte MIG	3	Soldeo por llama
135	Soldeo por arco con gas activo MAG	311	Soldeo oxiacetilénico
4	Soldeo por presión	52	Soldeo laser

La sociedad americana de soldadura AWS por sus siglas en inglés (American Welding Society), tiene su propio sistema de clasificación de las soldaduras, esta se realiza en etapas consecutivas utilizando en cada una diferentes factores que las definen.

Primero se clasifican los procesos según como sea la interacción en las diferentes partes del metal base y el metal de aportación. Las siguientes etapas de clasificación son progresivas en función del tipo de energía, así como fuente que la produce, si tiene o no refuerzo mecánico y el tipo de protección que necesita.

1.3.1 Procesos de Soldeo por fusión

Son aquellos en los que siempre se produce la fusión del metal base y la del metal de aportación en caso de utilizarse. Es decir, siempre existe una fase líquida formada solo por metal base, o por metal base y el metal de aportación.

Dentro de este tipo de proceso los métodos más utilizados son: El soldeo por arco eléctrico tanto de electrodos revestidos o protegido por gas, el soldeo TIG, alambre sumergido, etc. Los procesos de soldeo por fusión, al ser los principales y más importantes serán descritos y analizados en el Capítulo 2.

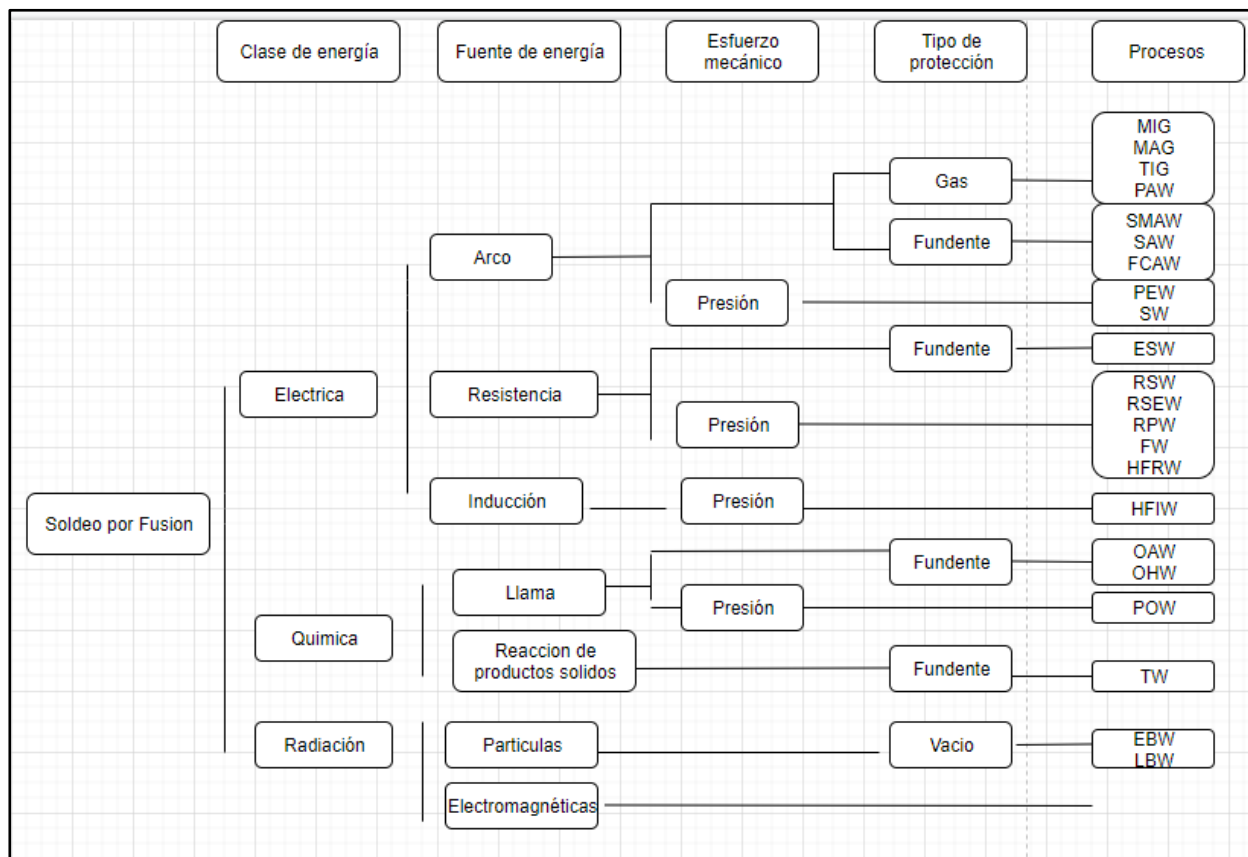


Figura 3. Clasificación procesos de soldeo por fusión. Fuente: AWS A3.0

1.3.2 Procesos de Soldeo en estado sólido

Son aquellos en los que nunca se produce la fusión del metal de base, ni la del de aportación en caso de emplearse. Es decir, nunca existe una fase líquida.

Este tipo de soldadura se refiere a los procesos de unión en los cuales la fusión proviene de la aplicación de presión solamente, o una combinación de calor y presión. Si se usa calor, la temperatura del proceso está por debajo del punto de fusión de los metales que se van a soldar.

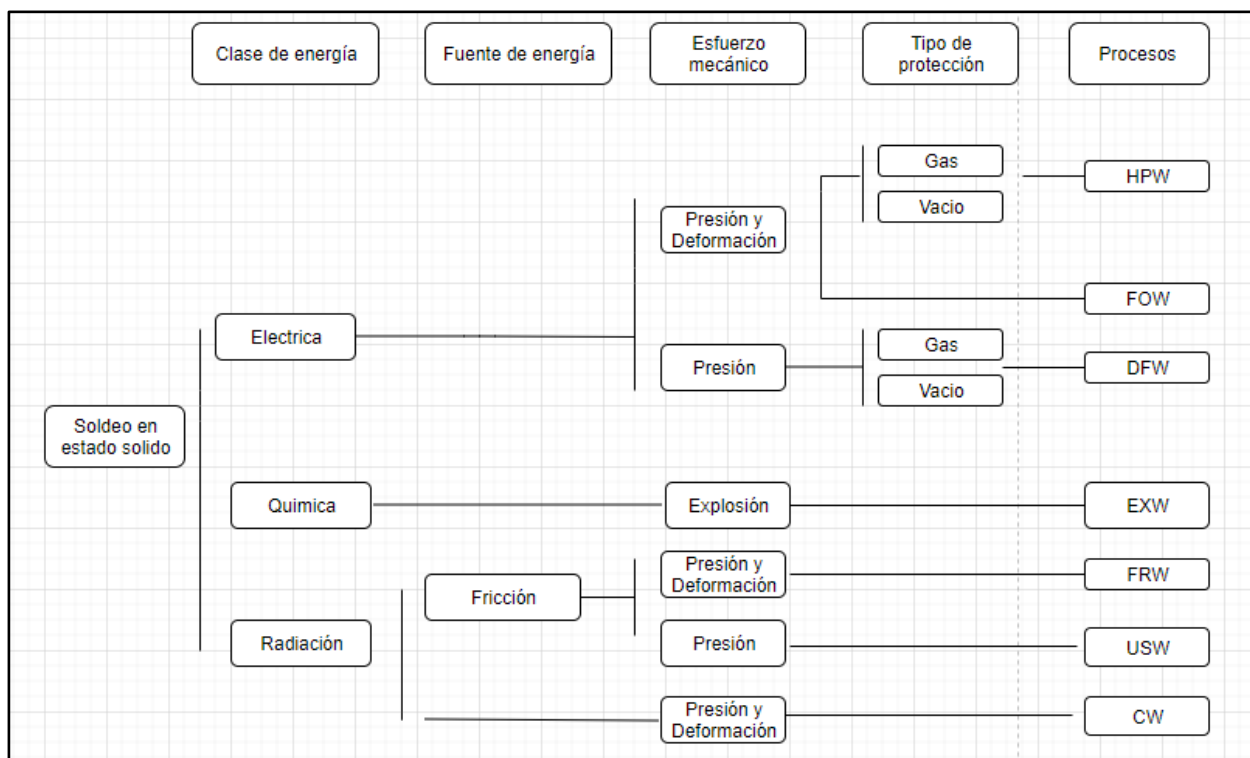


Figura 4. Clasificación de procesos de soldadura en estado sólido. Fuente: AWS A3.0

Algunos de los procesos de unión más utilizados con este tipo de soldadura incluyen:

•**Soldadura por fricción:** En este proceso, la coalescencia se obtiene mediante el calor de la fricción entre dos superficies y la presión a la que se le somete lo que termina por unir las partes. Se basa esencialmente en la utilización de una herramienta cilíndrica de perfil especial, que se inserta entre las superficies de encuentro de los materiales a unir con una velocidad de rotación y sometiéndolo a una fuerza determinada. Las piezas deben estar bien sujetas para evitar desviaciones y así produciendo la dispersión de los óxidos, la plastificación localizada del material y la soldadura.

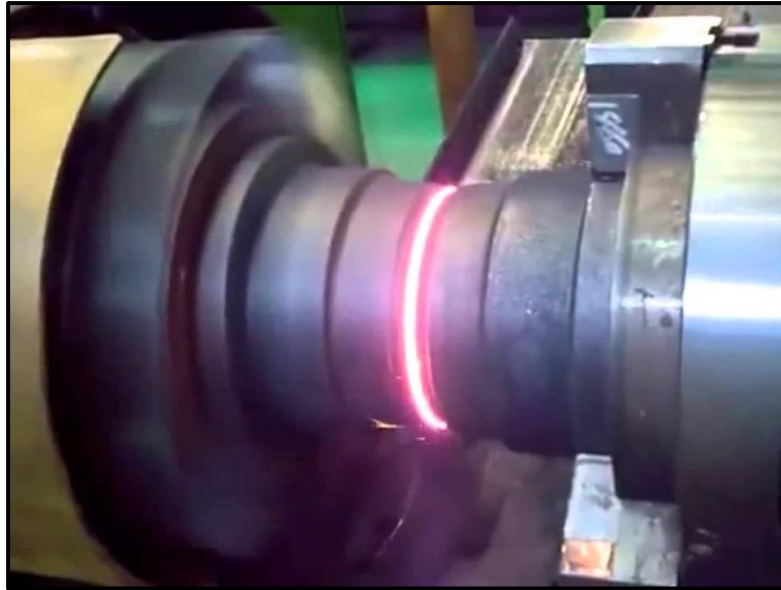


Figura 5. Soldadura por fricción. fuente:Youtube canal de Aioros Dokho

-Ventajas de este tipo de procesos:

- No hay costes adicionales ya que no es necesario material de aportación, ni gases de protección.
- Proceso seguro, no se producen arcos, chispas, llamas ni tampoco humos tóxicos.
- Se obtienen altas resistencias, bajas tensiones de soldadura, las impurezas se eliminan durante el proceso y no existe porosidad.
- Al ser un proceso automatizado y rápido, aumenta la producción y reduce el tiempo de ciclo.

●**Soldadura en frío:** Basada en la aplicación de ciertas condiciones de presión y vacío que hacen posible la unión de metales sin fundir ninguno, a temperatura ambiente, se efectúa mediante equipos que ejercen presión sobre las piezas que queremos soldar, a través de rollos o matrices, hasta lograr que se elimine la barrera entre uno y otro, y los electrones se unan.

En la soldadura en frío por presión se deben cumplir ciertas condiciones para poder llevarse a cabo el proceso:

- 1) El material de al menos uno de los elementos a unir tiene que poder deformarse.

-
- 2) El proceso debe producirse en condiciones de vacío y, la presión es tal que ocurre una interacción entre los electrones libres y átomos ionizados, esto es lo que genera la unión.
 - 3) Los metales deben estar libres de grasa y óxidos. Se deben limpiar con cepillo de alambres antes de realizar la unión.

-Ventajas de este tipo de proceso:

- No altera las propiedades de los elementos.
- No se generan altas temperaturas.
- Proceso rápido y automatizado, maquinaria bastante simple.

•**Soldadura ultrasónica:** La soldadura ultrasónica (ultrasonic welding, USW), es un proceso de unión en estado sólido en el cual se integran dos componentes bajo fuerzas de sujeción modestas y se aplican intensas presiones oscilatorias de frecuencia ultrasónica en una dirección paralela a la superficie de contacto para producir la unión. La combinación de las fuerzas normales y las vibratorias genera intensas tensiones que remueven las películas de óxido superficiales y se obtiene una unión atómica de las superficies. El calentamiento que se produce en las superficies en contacto es debido a la fricción interfacial y la deformación plástica, las temperaturas generadas están bastante por debajo del punto de fusión. En la USW no son necesarios metales de aporte, fundentes ni gases protectores.

-Ventajas de este tipo de proceso:

- Permite unir metales diferentes.
- Los tiempos de ciclos son menores a un segundo.
- La soldadura obtenida es de alta calidad y uniformidad.
- Las ligas son más fuertes que las juntas hechas con soldadura por resistencia.
- No hay zonas frágiles generadas por el calor.
- Se obtiene mayor conductividad eléctrica.

- No es necesaria una alta cualificación por parte del operador para producir uniones de alta calidad.

• **Soldadura por difusión:** La soldadura por difusión (Difusion Welding, DFW) es un proceso de unión en estado sólido resultado de la aplicación de calor y presión, en una atmósfera controlada y durante el tiempo suficiente para que ocurra la difusión y la coalescencia. Las temperaturas son bastante menores que los puntos de fusión de los metales a unir y la deformación plástica en la superficie es mínima. El mecanismo principal de coalescencia se lleva a cabo mediante la difusión en estado sólido, que implica la migración de átomos a través de la interfase entre las superficies en contacto. Los dos materiales deben ser presionados simultáneamente, por lo general la temperatura del proceso es de entre el 50% y el 70% del punto de fusión de los metales a unir. Para la obtención de difusión con metales de diferente composición se suele introducir una capa de relleno para facilitar la difusión, normalmente níquel.

Hay tres etapas para llevar a cabo este tipo de proceso:

- 1) Hacer que las dos superficies se suelden a alta temperatura y presión, alisando las superficies en contacto, rompiendo las impurezas y produciendo un área más grande de contacto entre átomos.
- 2) Obtenidas las superficies comprimidas a altas temperaturas, los átomos se difunden a través de los límites del grano, esto no termina de eliminar la totalidad de los pequeños huecos.
- 3) Finalmente se eliminan los huecos, produciéndose la difusión en volumen, la cual se realiza de forma mucho más lenta que la del paso anterior.

-Ventajas de este tipo de proceso:

- Posibilidad de unión de diferentes metales, incluso aquellos que son difíciles de unir mediante procesos convencionales.
- Capacidad de evitar dificultades metalúrgicas mediante un ensamblaje de varios metales a través de una capa intermedia de níquel.
- Facilidad operacional.
- No hay límite en el número de uniones que se pueden realizar en una sola operación, lo que reduce los tiempos.

•**Soldadura por rodillos:** La soldadura con rodillos es una variación de la soldadura por forja o de la soldadura en frío, dependiendo de si se obtiene o no el calentamiento externo de las partes del trabajo antes del proceso. La soldadura con rodillos, (roll welding, ROW), es un proceso en estado sólido en el cual se aplica una presión suficiente para producir la coalescencia mediante rodillos, ya sea con o sin aplicación externa del calor.

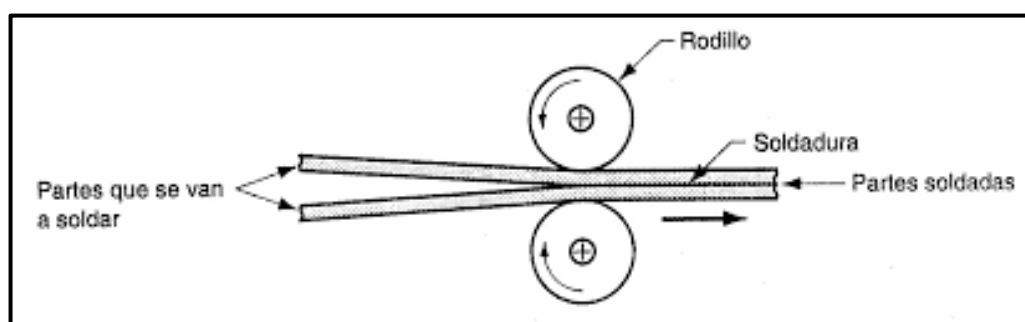


Figura 6. Proceso de soldadura por rodillos. Fuente: Universidad del Bio-Bio de Chile

1.3.3 Procesos de soldeo fuerte y blando

Procesos en los que siempre se produce la fusión del metal de aportación, pero no la del metal base. Es decir, siempre existe una fase líquida formada solo por el metal de aportación.

Consiste en realizar uniones en las que el material de aportación tiene menor punto de fusión y diferentes características, que el metal base, realizándose la unión soldada sin fusión del metal base y mediante la fusión del material de aportación que se distribuye entre las superficies de la unión, muy próximas entre sí, por acción capilar.

El soldeo fuerte se distingue del soldeo blando por la temperatura de fusión del metal de aporte. El soldeo fuerte utiliza aportaciones con punto de fusión por encima de 450°C y el soldeo blando por debajo de dicha temperatura.

Este tipo de proceso se suele utilizar por norma general para la unión de piezas pequeñas, piezas de diferente tamaño, en piezas de donde sería difícil acceder y

trabajar para el soldeo por fusión o piezas de diseño complicado que se pueden fabricar con soldeo fuerte y de este modo ahorrarnos altos costes.

Tabla 2. Clasificación de los procesos de Soldeo fuerte/blando ISO 4063. Fuente: Norma ISO 4063

Nº Referencia	Designación	Nº Referencia	Designación
9	Soldeo fuerte, soldeo blando y cobresoldeo	943	Soldeo blando en horno
91	Soldeo fuerte	944	Soldeo blando por inmersión
911	Soldeo fuerte con infrarrojos	945	Soldeo blando en baño de sales
912	Soldeo fuerte por llama	946	Soldeo blando por inducción
913	Soldeo fuerte en horno	947	Soldeo blando por ultrasonidos
914	Soldeo fuerte por inmersión	948	Soldeo blando por resistencia
915	Soldeo fuerte en baño de sales	949	Soldeo blando por difusión
916	Soldeo fuerte por inducción	951	Soldeo blando por ola
918	Soldeo fuerte por resistencia	952	Soldeo blando con soldador (herramienta soldadora)
919	Soldeo fuerte por difusión	954	Soldeo blando en vacío
924	Soldeo fuerte en vacío	97	Cobresoldeo
94	Soldeo blando	971	Cobresoldeo con gas
941	Soldeo blando por infrarrojos	972	Cobresoldeo con arco
942	Soldeo blando por llama		

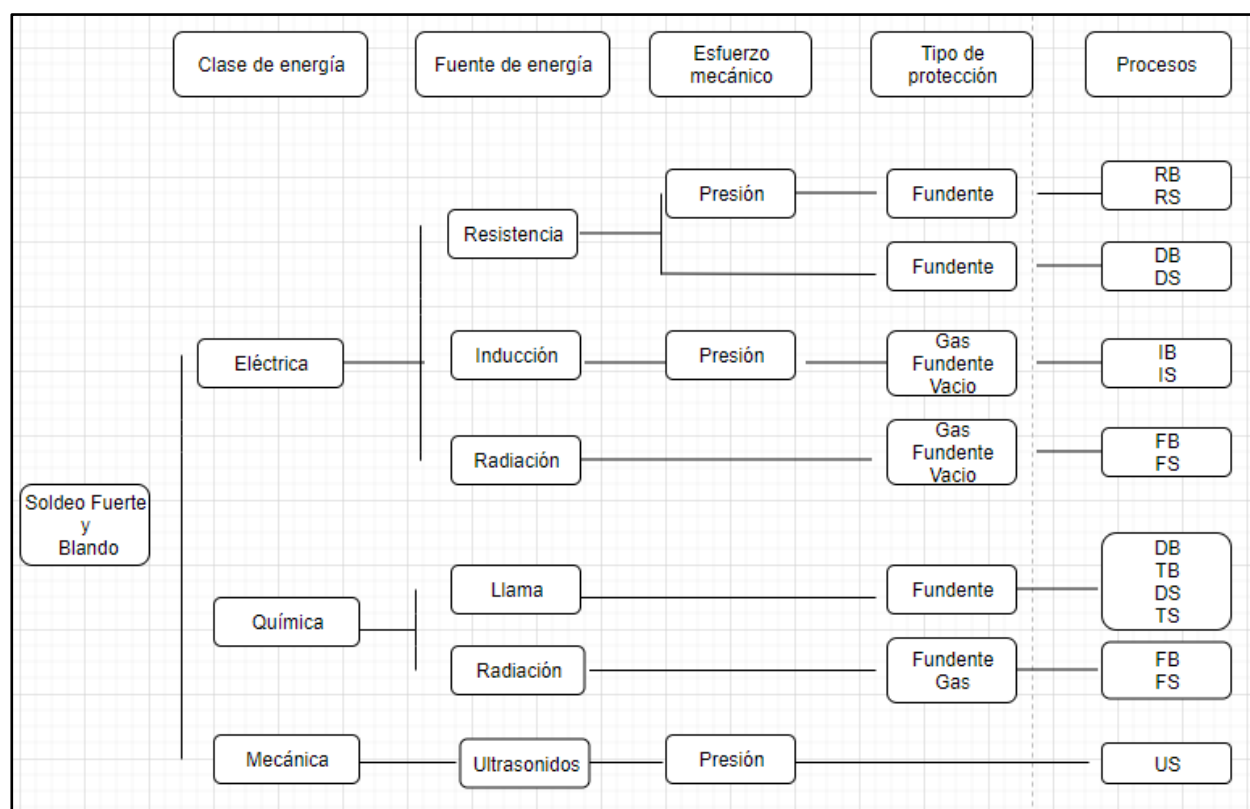


Figura 7. Clasificación de procesos de soldeo fuerte y blando. Fuente: AWS A3.0.

Ventajas de este tipo de procesos:

- Se pueden conservar los recubrimientos y plaqueados de los materiales base.
- Facilidad de obtener buenas uniones entre materiales diferentes incluso entre materiales metálicos y no metálicos.
- Posibilidad de unir materiales de diferente espesor.
- Útiles y fáciles para obtener soldaduras de precisión.
- Al requerirse bajas temperaturas se produce un ahorro energético.
- Posibilidad de realizar soldaduras en muchas piezas al mismo tiempo, lo que resulta un ahorro económico.
- No se necesita un alto grado de conocimientos y preparación para realizar estas soldaduras.
- Es un proceso fácilmente automatizable.
- La apariencia de la soldadura es muy buena. Útil para piezas decorativas.

Desventajas de este tipo de procesos:

- Resistencia mecánica y continuidad es mucho menor a la obtenida con soldeo por fusión.
- El diseño de las piezas y su preparación puede resultar más complicado y costoso.
- Difícilmente aplicable con piezas grandes.

Tabla 3. Diferencias entre soldeo fuerte/blando y soldeo por fusión. Fuente: CESOL

Soldeo fuerte y blando	Soldeo por fusión
El metal base no se funde.	El metal base se funde.
Se utilizan fundentes para proteger y mejorar el mojado de los metales base.	Se utilizan fundentes para proteger y mejorar la adhesión.
El calor se suministra mediante resistencia, horno, inducción o soplete.	El calor se suministra por láser, haz de electrones, arco eléctrico, resistencia.
Se produce unión sin deformación.	Se pueden producir grandes deformaciones en los metales base.
Las tensiones residuales, cuando se producen, son muy pequeñas.	Se producen tensiones residuales.
El metal de aportación debe mojar el metal base y distribuirse por capilaridad.	El metal base y el de aportación se funden consiguiéndose la unión tras su solidificación conjuntamente.

1.4 Seguridad en los procesos de soldadura.

La soldadura es una técnica muy empleada en la industria en general, lo que supone que un gran número de personas emplea diariamente en sus trabajos algún método de soldadura. Como es bien sabido la soldadura consiste básicamente en fundir metal mediante un aporte de energía y unir diferentes piezas. Para conseguirlo hay diferentes métodos como ya se ha explicado, por arco eléctrico, mediante llama de gas etc. Esto supone que hay muchos riesgos para el personal que lleva a cabo estos procesos, están expuestos a electrocutarse, quemarse la piel, dañarse los ojos, inhalación de gases tóxicos, además de los riesgos laborales más comunes que existen en procesos de montaje como cortes, caídas y otros tantos.

Según datos oficiales del ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social, en el año 2018, el número de accidentes de trabajo con baja fue 617.488, mientras que el de accidentes de trabajo sin baja fue 730.686.

De estos accidentes la gran mayoría se producen en sectores de actividad económica centrada en la industria o la producción como son: Construcción, reparación de vehículos, industria manufacturera. A continuación, se muestra una gráfica oficial del ministerio (ver Figura. 8) en la que se reflejan el número de accidentes con baja, así como accidentes mortales de los años 2017 y 2018, separados por sectores económicos.

Se puede apreciar que, de los 617.488 accidentes con baja del año 2018, los tres primeros puestos de la lista que suponen 245.426 accidentes, son en sectores anteriormente nombrados, lo que supone un 39,7% del total de los accidentes.



Figura 8. Accidentes laborales por sector. Fuente: Ministerios de trabajo.

1.4.1 Higiene y equipamiento.

Debida a la alta exposición de los trabajadores, operarios a sufrir lesiones, en el transcurso de su jornada laboral, la mayoría de empresas relacionadas con los sectores anteriormente mencionados, aplican la norma ISO 45001⁽³⁾ de prevención de riesgos laborales.

La norma ISO 45001 "*Sistemas de gestión de salud y seguridad en el trabajo - Requisitos y orientación para el uso*", es una norma internacional que especifica los requisitos para un sistema de gestión de salud y seguridad ocupacional (SST) y proporciona indicaciones para su uso, para permitir a las organizaciones proporcionar trabajos seguros y saludables, prevenir accidentes en el trabajo y problemas de salud, asimismo de mejorar SST de manera proactiva.

Es aplicable a cualquier organización que desee establecer, implementar y mantener un sistema de gestión para mejorar la salud y seguridad en el trabajo, eliminar los riesgos o tratar de minimizarlos y fallas del sistema además de aprovechar las oportunidades de SST.

Esta norma cuenta con la cláusulas sobre la empresa, planificación y gestión. Las empresas deberán tener en cuenta cuestiones tanto internas como externas que sean relevantes para el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo y centrarse en los trabajadores, atendiendo a sus necesidades y expectativas. La implantación de esta norma resulta más sencilla ya que está compuesta por 10 cláusulas y cada una de ellas está complementada y ampliada con 10 anexos, uno por cada cláusula. Así se evitan las ambigüedades surgidas en las normas ISO 9001⁽⁴⁾ e ISO 14001⁽⁵⁾.

Ahora se clasificarán los riesgos, lesiones más comunes a los que se exponen los soldadores según lo que los provoca:

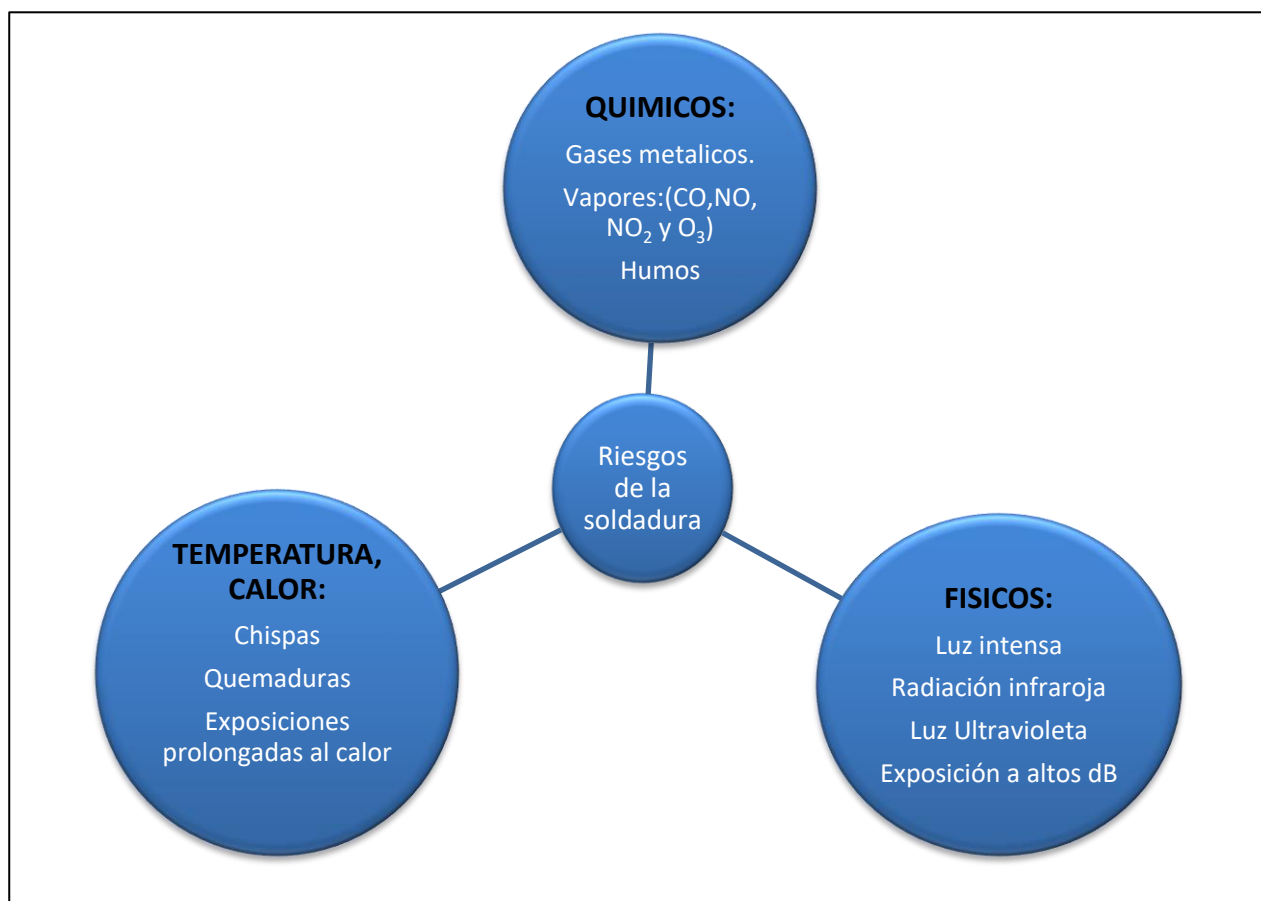


Figura 9. Clasificación de los riesgos en la soldadura según su origen. Fuente: Propia.

(4) UNE-EN ISO 9001:2015, Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos (ISO 9001:2015).

(5) UNE-EN ISO 14001:2015, Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 14001:2015).

Componentes químicos:

-La exposición a **gases metálicos** (cinc, magnesio, cobre, y óxido de cobre) pueden causar fiebre de los humos metálicos. Los síntomas de la fiebre de los humos metálicos pueden ocurrir de 4 a 12 horas después de estado expuesto, e incluye escalofríos, sed, fiebre, dolores musculares, dolor en el pecho, tos, dificultad para respirar, cansancio, náusea, y un sabor metálico en la boca.

-Hay algunos **vapores** de la soldadura, que desprenden ciertos metales, como el berilio, cadmio, cobre, manganeso y plomo, y gases como el monóxido de carbono (CO) y monóxido de nitrógeno (NO), se disuelven en la sangre pulmonar y se distribuyen por todo el organismo pudiendo llegar a originar deterioros progresivos en diferentes órganos como el estómago, riñones, corazón, hígado, huesos, sistema nervioso pueden ser fatales en poco tiempo.

Los gases secundarios que son despedidos por el proceso de la soldadura también pueden ser extremadamente peligrosos. Como la radiación ultravioleta que es despedida al momento de soldar reacciona con el oxígeno y el nitrógeno en el aire para formar ozono y óxidos de nitrógeno. Estos gases son mortales en dosis altas, y pueden causar irritación en la nariz y la garganta, así como graves enfermedades en los pulmones.

-El **humo** de la soldadura puede irritar los ojos, la nariz, el pecho, y las vías respiratorias, y causar tos, dificultad para respirar, falta de aliento, bronquitis, edema pulmonar (líquido en los pulmones), neumonitis (inflamación de los pulmones) neumoconiosis benignas con leves sobrecargas pulmonares, como es el caso del hierro, que incluso pueden remitir, hasta graves fibrosis pulmonares como las causadas por el berilio.

El humo también es causante directo de efectos gastrointestinales, tales como náusea, pérdida de apetito, vómitos, calambres, y digestión lenta. Además, hay estudios que concluyen que según el proceso utilizado el humo desprendido puede presentar sustancias potencialmente cancerígenas.

Calor aumento de temperatura:

-Las chispas y el **calor intenso** al momento de soldar pueden causar quemaduras superficiales en la piel hasta quemaduras de tercer grado, debido a las altas temperaturas necesarias para fundir los metales. Así como el contacto con

esquirlas calientes, astillas de metal, chispas... pueden causar quemaduras y lesiones a los ojos.

La exposición excesiva al calor puede causar estrés por el calor o insolación. Los soldadores deben ser conscientes de los síntomas, tales como cansancio, mareos, pérdida del apetito, náusea, dolor abdominal, e irritabilidad.

Luz y sonido:

-La **luz intensa** asociada con el soldar al arco puede causar daños a la retina del ojo, el tipo de quemadura que produce el arco no es permanente, aunque es muy dolorosa, una sensación desagradable, así como los ojos arenosos, además de tener fiebre y asimilar una intolerancia a cualquier tipo de luminosidad. Mientras que la **radiación infrarroja** puede dañar la córnea, alterar la sensibilidad de la retina y resultar en la formación de cataratas.

-La invisible **luz ultravioleta** (UV) del arco puede causar “ojo de arco” o “flash del soldador,” inclusive hasta después de una breve exposición (menos de un minuto). Los síntomas de ojo de arco usualmente ocurren después de una exposición prolongada de la radiación ultravioleta, producida por la soldadura, también puede provocar desde inflamación, daño ocular permanente incluyendo una sensación de arena en el ojo, visión borrosa, dolor intenso, ojos llorosos, ardor, y dolor de cabeza. La exposición a la luz ultravioleta puede causar quemaduras a la piel parecidas a las quemaduras causadas por el sol, y aumentar el riesgo de cáncer de la piel del trabajador.

- Una exposición prolongada a altos decibelios (dB) en el entorno de trabajo sin protegerse debidamente los con los diferentes dispositivos que existen para prevenirlo, puede ocasionar una pérdida auditiva parcial o total.

Para evitar que los operarios corran algún riesgo o sufran cualquier tipo de lesión como las anteriormente mencionadas, la seguridad es primordial, por ello se deben tomar todas las medidas, precauciones pertinentes y utilizar el equipo adecuado, los EPI (Equipo de Protección Individual) para asegurar que el trabajo se realice sin peligro.

Uno de los objetos más característicos y reconocidos de la soldadura es la máscara, pantalla de protección que sirve tanto para evitar quemaduras directas en la piel y los ojos, como para prevenir los rayos infrarrojos y ultravioletas que se desprenden durante la soldadura.

Existen diferentes tipos:

- Gafa de soldador universal.
- Gafa integral, que es una gafa con protección lateral, de un solo cuerpo.
- Gafa de cazoleta, que es una gafa con protección lateral y montura de un solo cuerpo para cada ojo.
- Pantalla de soldador, que puede ser de mano, de cabeza o acoplable a otros EPIs, como al casco.



Figura 10. Diferentes tipos de gafas para la soldadura. Fuente: Amazon.

Los cristales utilizados en todas las opciones nombradas anteriormente están formados generalmente por tres partes:

- Cubre filtros: tiene como misión proteger el filtro, parte más cara del equipo, de la posible rotura.
- Filtro: como su nombre indica protege de la radiación.
- Ante cristal: tiene como objeto proteger al usuario ante la posible rotura del filtro.

La elección del filtro viene condicionada por una serie de parámetros que varían en función de que se emplee soldadura por arco eléctrico o soldadura oxiacetilénica. Estos filtros deben estar certificados por la norma UNE EN 169⁽⁶⁾.

Tabla 4. Guía para la selección de la densidad del filtro. Fuente: Norma UNE EN 169.

Operación/ Proceso	Tamaño del electrodo Pulg. (mm)	Corriente del arco (A)	Densidad Mínima Protectora
SMAW	Menor de 3/32 (2,5)	Menor de 60	7
	3/32-5/32 (2,5 - 4)	60 - 160	8
	5/32-1/4 (4 – 6,4)	160 - 250	10
	más de 1/4 (6,4)	250 - 550	11
GMAW y FCAW		Menor de 60	7
		60 - 160	10
		160 - 250	10
		250 - 550	10
TIG (GTAW)		Menor de 50	8
		50 – 150	8
		150 – 500	10
Corte por carbón aire (CAC-C)	(Liviano) (Pesado)	Menor de 500	10
		500 – 1000	11
PAW		Menor de 20	6
		20 – 100	8
		100 – 400	10
		400 – 800	11
Corte por plasma		Menor de 20	4
		20 – 40	5
		40 – 60	6
		60 – 300	8
		300 – 400	9
		400 – 800	10

El resto de EPIs que el soldador debe utilizar ha de cumplir con la normativa europea y ajustarse a las medidas de seguridad laboral según el tipo de soldadura que se realice, pero principalmente el equipo necesario es el siguiente:

-El vestuario, diseñado según norma europea EN 11611⁽⁷⁾, la ropa de trabajo de protección soldadura si puede ser de lana mejor que de algodón ya que esta no se

(6) **UNE-EN 169:2003**, Protección individual de los ojos. Filtros para soldadura y técnicas relacionadas. Especificaciones del coeficiente de transmisión (transmitancia) y uso recomendado.

(7) **UNE-EN ISO 11611:2018**, Ropa de protección utilizada durante el soldeo y procesos afines. (ISO 11611:2015)

quema tan fácilmente, minimiza el riesgo de quemaduras. Se debe evitar bolsillos y pantalones con dobladillo, la ropa debe usarse siempre libre de grasas y aceites, así como tener en cuenta que no debe estar ni húmeda o sudada. En caso de soldadura eléctrica debe estar libre de elementos metálicos tales como cremalleras, corchetes entre otros requerimientos y llevar ropa de trabajo sin aberturas para impedir que los rayos del arco entren en contacto con la piel.

-Botas de seguridad, que también deben de tener sus especificaciones como la puntera reforzada para minimizar los riesgos derivados de caídas de objetos pesados y con lengüeta en el empeine para que pueda resistir las chispas de la soldadura. Norma europea EN 345⁽⁸⁾ para el calzado laboral para uso profesional.

-Los delantales, chaquetas, capas o protectores de hombro deben ser de cuero, materiales resistentes al fuego o de algún otro material adecuado para utilizarse como protección contra la salpicadura del metal deshecho, el calor irradiado y las chispas.

-Casco de seguridad, para proteger de caídas o golpes de objetos pesados o punzantes, dependiendo de las condiciones en las que se desarrolle el trabajo.

- Arnés, cinturón de seguridad si se van a realizar trabajos en altura. Este tipo de trabajos no están permitidos si se superan vientos de 60km/h o hay lluvia.

-Guantes, manguitos y polainas apropiados para soldar. Los guantes deben de cumplir la norma europea EN 407⁽⁹⁾ que fija unos niveles de prestación mínimos para determinadas propiedades térmicas

Para soldadores que requieran alta protección, los guantes según la norma EN 12477⁽¹⁰⁾ ofrecen protección específica contra los riesgos derivados del soldeo. Pequeñas gotas de metal fundido, llamas de corta duración, calor por convección o por contacto, radiación UV, agresiones mecánicas, además las costuras deben ser interiores para evitar la retención de partículas incandescentes.

Los guantes de soldadores se clasifican en dos tipos:

- Tipo A: posee niveles de prestación más exigentes a costa de la movilidad.

- Tipo B: tienen una mayor movilidad a costa de unos niveles de prestación menores.

Además de todas estas protecciones a nivel personal también hay que tener en cuenta al entorno es decir una protección colectiva que se basa en los siguientes aspectos.

-Extractores de humo, sistemas de ventilación que ayudan a reducir tanto el humo como el polvo en el lugar de trabajo. Si el trabajo se realiza en un espacio confinado, este debe estar adecuadamente aireado para impedir la acumulación de materiales tóxicos, gases combustibles o posibles diferencias de oxígeno, ya que la ventilación debe tener como mínimo una velocidad de 57 m²/min por soldador. La norma que fija la ventilación de edificios es la EN 12237⁽¹¹⁾

La ventilación mecánica se utilizará bajo las siguientes condiciones:

- En espacios inferiores a 284 m² para soldar.
- En un lugar que tenga una altura al techo inferior a 5m.
- En espacios confinados o en donde haya barreras que obstruyan la ventilación.

-Pantallas de puestos de soldadura, mejoran considerablemente el ambiente de trabajo, creando espacios protegidos de la radiación, arcos voltaicos de soldadura y salpicadura.

-Todas las **personas involucradas** en los procesos deben estar familiarizadas con las normas de seguridad aplicadas al trabajo y no permitir que personas sin autorización utilicen los equipos de soldadura y de corte.

-Señalizaciones, como guía visual y alerta informativa que facilita la localización e identificación de elementos y medios de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.

-Protección contra incendios, donde se incluyen los extintores de incendios con su debido mantenimiento, mantas ignífugas apaga fuego, mantas de protección soldadura que deben ser usadas según el tipo de soldadura que se trabajará. Además de quitar todo el material inflamable, como algodón, trapos, aceites, gasolina, de la zona cercana a la soldadura. No soldar en estructuras de madera que no estén bien preparadas, señalizar o dejar en sitios preparados para ello las piezas de metal recién soldadas aun calientes.

(11) **UNE-EN ISO 12237:2003**, Ventilación de edificios. Conductos. Resistencia y fugas de conductos circulares de chapa metálica

1.4.2 Cualificación / Homologación de los soldadores.

Como se ha comprobado, soldar es un proceso muy importante dentro de determinadas industrias, sectores, además de complicado y también peligroso. Para asegurarse de que los encargados de ese proceso van a realizarlo de forma correcta, eficiente y segura. Existen una serie de pruebas y parámetros que se deben de seguir para poder realizar dichos trabajos, a eso le conoce como certificado de cualificación o de homologación.

El certificado de cualificación o de homologación, es el documento escrito donde se registran las condiciones de las pruebas, exámenes realizados por el soldador y los resultados obtenidos en ellas. En el certificado se valora la habilidad del soldador y los diferentes tipos de soldaduras que puede realizar por estar cualificado para ello.

La normativa que especifica los requisitos esenciales, rangos de cualificación, condiciones de las pruebas, criterios de aceptación y certificación para cualificación del soldador es la UNE-EN ISO 9606⁽¹²⁾, que desde finales del 2015 sustituye a la norma que anteriormente regulaba estas cualificaciones era la UNE-EN 287.

Durante las pruebas de cualificación el soldador deberá demostrar la su experiencia, practica adecuada y conocimiento de la operativa de trabajo de los procesos de soldeo, materiales y requisitos de seguridad para los que será cualificado. El certificado de cualificación se emite bajo la responsabilidad exclusiva de la persona u organismo examinador.

En esta norma no se incluyen los procesos totalmente mecanizados y totalmente automatizados.

Desde la emisión de la norma UNE-EN ISO 9606 el periodo de validez se establece en 3 años, anteriormente a la publicación de esta nueva norma, la UNE-EN 287 establecía los periodos en 2 años. Transcurrido ese tiempo el soldador deberá realizar una nueva prueba para renovar su cualificación.

En la figura mostrada a continuación se puede ver un certificado de homologación de un soldador real.



Welder Qualification Test Certificate BS EN ISO 9606-1: 2013

Energy - Downstream, Power and Manufacturing

Designation:	EN-ISO 9606-1 138/136 T BW FM1 M/P 13/13 D139 HL45 ss,nb		
Welding Procedure Specification Reference No.	WPS-IRIS-138-136-01/WPS-IRIS-138-136-01	Examining Body:	Lloyd's Register /
Welder's Name			
Identification:	IR043		
Method of identification:	CLOCK		Photograph (if required)
Date and place of birth:	----		
Employer:	[REDACTED]		
Code/Testing Standard:	BS EN ISO 9606-1:2013		
Job knowledge:	Not Tested (delete as necessary)		
Welding process(es)	Test piece	Range of qualification	
Transfer Mode	Root: 138 / Fill + Cap: 136	135,138,136	
Product type (plate or pipe)	138: Globular / Spray	138: Globular / Spray	
Type of weld	T	P,T	
Parent material group(s)/subgroups	BW	BW (Branch connection: 60 °)	
Filler material group(s)	1.2 (S355J2) - 1.2 (S355J2)	----	
Filler material (Designation)	138/136 : FM1 (EN-ISO 17632-A)	FM1;FM2	
Shielding gas	138 : M (T5061NiMM1H5)136:P(T5061NiPM1H5)	138 Root: M Fill & Cap: M,S 136: R,P,V,W,Y,Z	
Auxiliaries	M21	----	
Type of current and polarity	n.a.	----	
Material thickness (mm)	DCEP	----	
Deposited thickness (mm)	138+136: 26 mm	n.a.	
Outside pipe diameter (mm)	BW:138:13mm(≥3Layers)+136:13mm(≥3Layers)	BW: 138: ≥ 3 mm 136: ≥ 3 mm	
Welding positions	D 139.7 mm	≥ 69.85 mm	
Weld details	BW: HL-045	BW: PA,PC,PF,PE	
Multi-layer/single layer	BW: 138 ss,nb 136: ssmb	BW:138:ss,nb;ss,mb; bs; ss,gb; ss,fb 136:ss mb;bs	
	n.a.	n.a.	
Supplementary fillet weld test (completed in conjunction with a butt weld qualification):	Not Applicable		
Type of test	Performed and acceptable	Not tested	
Visual testing	Acceptable		
Radiographic testing			
Ultrasonic testing	Acceptable (IR043)	UT-003-15	
Fracture test			
Bend test			
Notch tensile test			
Macroscopic examination			
Date of welding:	02 diciembre 2015	Location:	Ferrol
Revalidation 9.3 a)	Valid Until 02 diciembre 2018	Validity of qualification until:	02 diciembre 2018
Revalidation 9.3 b)			
Revalidation 9.3 c)			

Figura 11. Test de certificación real según la ISO 9096. Fuente: Jordi Torralbo Gavilán.

En el documento anterior se puede apreciar que la normativa que lo acredita es la EN ISO 9606-1:2013, que como se ha explicado sustituye ya UNE-EN 287. Uno de los aspectos que más cambian entre una normativa y otra es la de los periodos de validez que establecía la otra norma, que era de 2 años. En el documento se puede ver que tiene una duración que va desde diciembre de 2015 hasta diciembre de 2018, es decir de 3 años.

Arriba de la imagen a la derecha, aparece que la sociedad de clasificación encargada de realizar el examen y certificar que el soldador cumple con las habilidades necesarias es la Lloyd's Register.

Los procesos de los que se está homologando al soldador son:

135: Soldeo por arco con gas activo, soldeo MAG.

136: Soldeo por arco con alambre tubular y protección de gas activo.

138: Soldeo MAG con alambre tubular relleno de polvo metálico.

Que se realizaran con transferencia Globular y transferencia en Spray, en DCEP que traducido al español significa electrodo positivo de corriente directa, es decir polaridad inversa.

La soldadura se realizará con el gas de protección M21, eso quiere decir que el gas está compuesto por entre un 15% - 25% de CO₂ y el resto es Argón.

La soldadura será en tipo T, puede ser unión en placas o en tubo. En las posiciones H-L045, PA, PC, PF, PE.

Como se puede apreciar, es un documento muy completo en el que salen indicados muchos requisitos e información, para saber si el soldador está homologado o no para realizar ciertas soldaduras de calidad y responsabilidad.

Capítulo 2. Procesos de Soldadura por arco eléctrico.

Dentro de las fuentes de energía utilizadas para conseguir fundir el material a soldar, se encuentra la soldadura por arco eléctrico, es una de las formas de soldar más utilizadas e implantadas en la industria actual.

La norma UNE 14599 define el proceso de soldadura por arco eléctrico como:

“Una descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente, por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o gas comprendido entre los mismos. Para producir el arco es necesario dos conductores, llamados electrodos y un gas conductor denominado plasma. El arco eléctrico se manifiesta con gran desprendimiento de luz y calor”

El arco eléctrico, por otra parte, es la fuente de calor que utilizan muchos de los procesos de soldeo fundamentalmente por dos razones.

- Proporciona altas intensidades de calor.
- Es fácilmente controlable a través de medios eléctricos.

Como se ha dicho anteriormente, el arco eléctrico consiste en una corriente normalmente alta sostenida a través de una columna gaseosa, pero como es bien sabido en condiciones normales los gases son aislantes, así que para conseguir el arco eléctrico es necesario convertir el gas en conductor de electricidad.

Para conseguir que un gas deje de ser aislante, se aplica un método llamado ionización, que básicamente es separar los átomos que componen el gas en iones, cargas positivas, y electrones, cargas negativas. Al gas ionizado se le llama plasma.

El procedimiento más simple para aportar la energía necesaria es calentar el electrodo a una temperatura muy elevada. Es por ello que el método corriente para cebar (iniciar) un arco, es crear un cortocircuito entre la pieza y el electrodo, de este modo se produce un calentamiento muy fuerte en la punta del electrodo negativo, denominado cátodo, al pasar una corriente elevada, en este punto si se

separa el electrodo con solo unos pocos voltios se establecerá el arco. Cuando el arco ya está formado, los electrones que salen del cátodo ionizan el gas al chocar con sus átomos.

Los electrones siguen su camino hacia el terminal positivo, metal base, a partir de ahora lo nombraremos ánodo. Cuando los iones de plasma regresan hacia el cátodo, estos le ceden su energía cinética, que se transformara en calor y de esta forma mantener la temperatura alta del cátodo mientras sigue emitiendo electrones. Todo este proceso se puede apreciar claramente en la figura que se presenta a continuación.

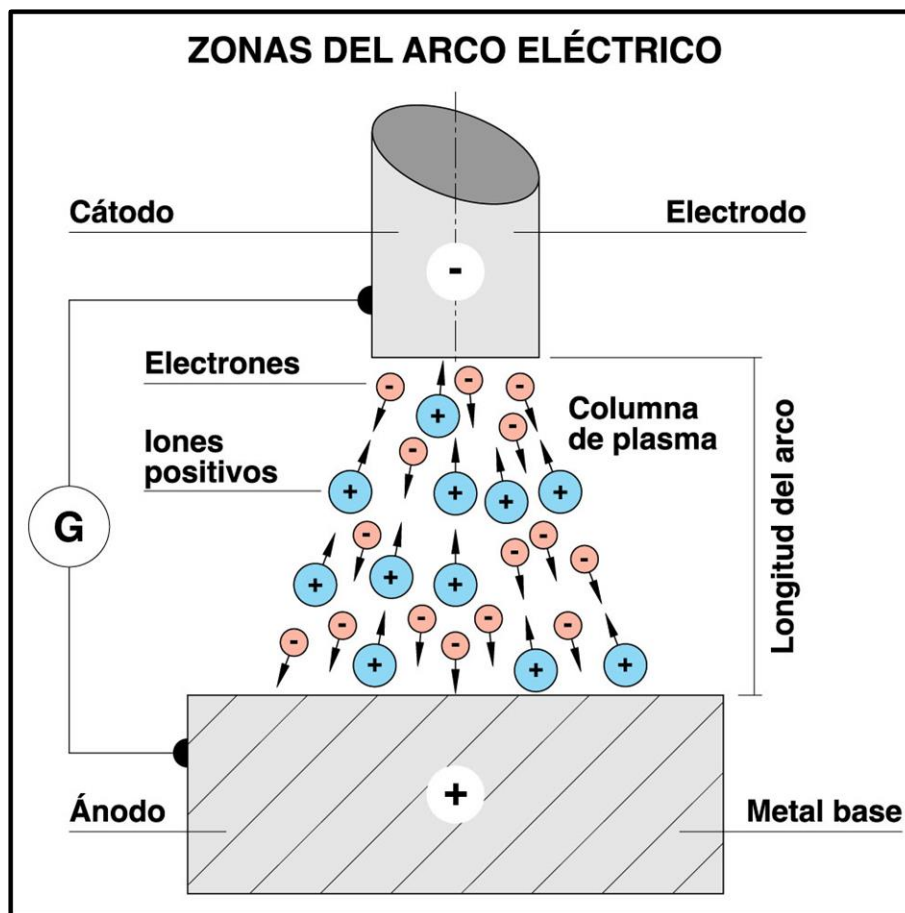


Figura 12. Zonas que componen el arco eléctrico. Fuente: web flickr, usuario ISM9

Como se puede observar en la figura 12, el arco eléctrico está dividido en tres regiones características.

-El cátodo: Es el terminal negativo, donde se produce la emisión de electrones, que ionizan el gas convirtiéndose en plasma. Los iones que proceden de la

columna de plasma bombardean el cátodo, calentándolo lo que permite que se mantenga la emisión de electrones.

Además, el cátodo presenta propiedades autodecapantes, (de auto limpieza) debido a la acción mecánica del bombeo de iones.

En el cátodo la energía se emplea para mantenerlo caliente y en arrancar los electrones, por lo que la temperatura del cátodo es más baja que la del ánodo, donde el total de la energía se utiliza para calentarlo únicamente.

-El ánodo: Es el terminal positivo, hacia donde se dirigen los electrones liberados por el cátodo, puesto que están atraídos por la carga positiva del ánodo, normalmente el metal base.

Como se ha mencionado anteriormente el ánodo estará a una temperatura más elevada que el cátodo, puesto que toda la energía utilizada se usa para calentarlo.

-La columna de plasma: El plasma es un gas que ha sido calentado por el arco eléctrico, como mínimo hasta un estado de ionización parcial, lo que lo convierte en conductor de la corriente eléctrica. Esta columna se encuentra entre el cátodo y el ánodo y su temperatura es muy elevada, rondando los 3.000°C. En la columna del plasma, la energía es absorbida para mantener el gas a una temperatura a la cual sea conductor.

El gas que se puede emplear para ionizarse y convertirse en plasma puede ser tanto el aire, como los vapores desprendidos por el revestimiento del electrodo y así como el gas de protección que deseemos utilizar.

La longitud del arco eléctrico es la distancia desde el extremo del electrodo a la superficie de la pieza.

2.1. Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)

El proceso de soldeo por arco con electrodo revestido del cual sus siglas en ingles SMAW son el acrónimo de (Shielded Metal Arc Welding), es uno de los más utilizados para realizar uniones soldadas, ya sea en la industria o por gente amateur en sus casas, talleres, etc. Esto se debe a diferentes motivos que serán explicados y analizados una vez definido este método de soldadura.

En la soldadura por arco con electrodo revestido, la fusión del metal es producida mediante el calor generado en un arco eléctrico, ronda los 5000°C, determinado entre el extremo del electrodo revestido y el metal base para soldar, que al fundirse por la elevada temperatura se mezclan en el baño de fusión.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas y la protección por la descomposición del revestimiento en forma de gases y escoria.

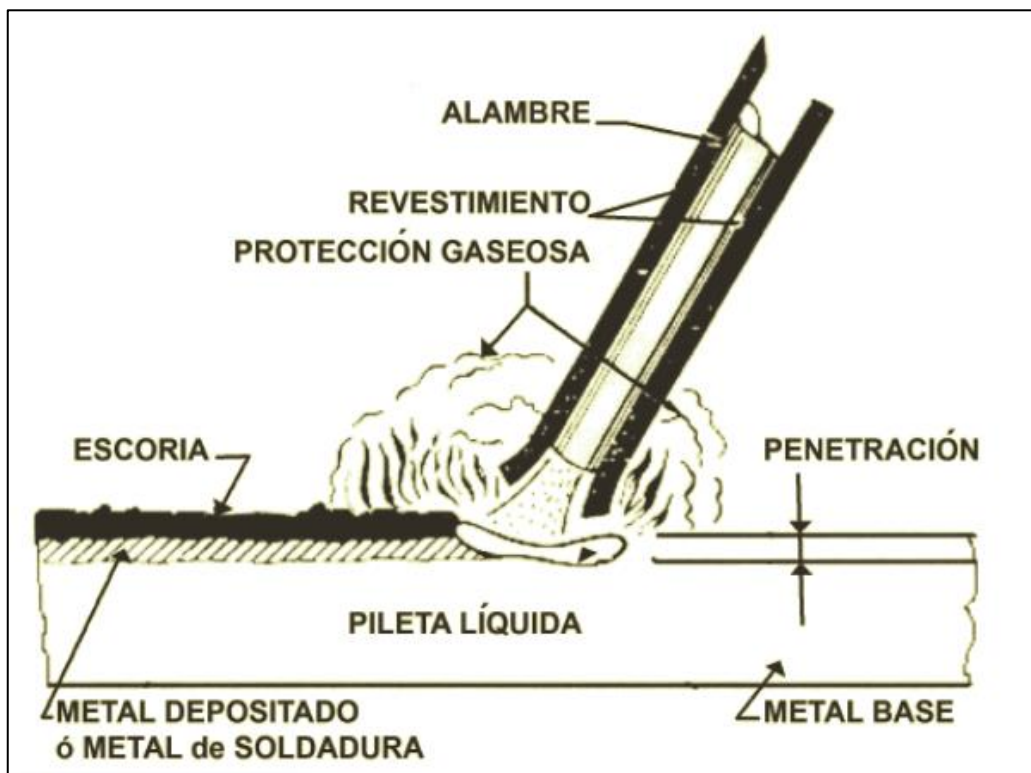


Figura 13. Representación del proceso de soldeo por electrodo revestido. Fuente: ESAB

En este tipo de soldadura es muy importante tener en cuenta los siguientes parámetros que son:

- Tipo de corriente
- Intensidad de soldeo
- Velocidad de desplazamiento
- Longitud de arco
- Diámetro del electrodo

A continuación, se explican con más detenimiento los principales parámetros.

1) Tipo de corriente:

La soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido se puede realizar ya sea mediante corriente continua, así como corriente alterna. Se soldará eligiendo una u otra dependiendo del metal con el que trabajaremos, el electrodo que utilicemos y el tipo de fuente de energía.

Tabla 5. Comparativa de las características de soldeo en CC y CA. Fuente: Manual del soldador

Características	Corriente continua (CC)	Corriente alterna (CA)
Perdida de tensión en cables	Grande	Pequeña
Electrodos	Todos	Solo con revestimiento que restablezcan el arco
Encendido del arco	Fácil	Difícil
Mantenimiento del arco	Fácil	Difícil
Efecto de soplo	Muy sensible	Raramente
Salpicaduras	Pocas	Frecuentes, debidas a la pulsación
Posiciones de Soldeo	Todas	Todas
Soldadura de hojas metálicas	Preferible a CA	Posible
Soldaduras de secciones gruesas	Posible, pero rendimiento bajo	Preferible a CC

Normalmente se suele realizar mediante corriente alterna, pero para los siguientes casos se utiliza la corriente continua:

- Soldar aceros inoxidables, con polaridad inversa.
- En la soldadura de aluminio y aleaciones ligeras, con polaridad inversa.
- Para soldar la fundición también se utiliza CC con polaridad inversa.

Al hablar de la polaridad se hace referencia a que en CC se puede elegir cual es el polo positivo y cual el negativo. Se llama polaridad inversa a que el metal base es el polo negativo y el electrodo el positivo, esta genera mayor penetración, cuando es al revés se conoce como polaridad directa.

2) Intensidad de soldeo:

Para saber que rango de intensidad necesaria hay que tener en cuenta el diámetro del electrodo, ya que, en caso de superarse la intensidad necesaria, se pueden producir mordeduras, soplos magnéticos, grietas y proyecciones. A mayor intensidad también se obtienen mayores penetraciones y mayor tasa de deposición.

3) Velocidad de desplazamiento:

Este es un factor importante a tener en cuenta a la hora de realizar la soldadura ya que el arco eléctrico debe adelantarse ligeramente al baño de fusión. La diferencia entre una alta y baja velocidad de desplazamiento es:

-Mayor velocidad: El cordón resultante es de menor anchura y mayor penetración hasta ciertas velocidades, se enfriará más rápidamente porque hay menor aporte térmico. Si la velocidad es demasiado rápida se producirán mordeduras, hay más dificultad al retirar la escoria, aparecen poros debido al atrapamiento de los gases.

-Menor velocidad: El cordón es más ancho, convexo y con poca penetración, esto se debe a que el arco eléctrico está demasiado tiempo sobre el metal ya depositado en vez de focalizar el calor en el metal base.

4) Longitud de arco:

De igual modo que con la intensidad, la longitud de arco que se vaya a utilizar dependerá del tipo de electrodo, tanto del diámetro, la posición de soldeo y en este caso también la intensidad. Pero por norma general la longitud del arco

debe ser igual al diámetro del electrodo, menos cuando se utiliza un electrodo tipo básico que la longitud es igual a la mitad del diámetro.

Es importante mantener siempre una misma longitud de arco, así se evitan oscilaciones de intensidad y tensión además de que la penetración sería desigual en el cordón. Si el arco es demasiado corto se pueden producir cortocircuitos, pero un arco muy largo pierde intensidad, direccionalidad y la protección del gas no es tan efectiva provocando porosidades y contaminación con oxígeno e hidrógeno.

Si durante la soldadura se produce un soplo magnético se deberá reducir la longitud del arco todo lo posible.

5) Diámetro del electrodo:

Seleccionar el electrodo adecuado es complicado, ya que cada vez hay más opciones. Por lo general hay que elegir el que tenga mayor diámetro, dentro de las características de la unión (espesor, material, posición) a realizar, para asegurarnos un aporte térmico adecuado ya que este es directamente proporcional al diámetro del electrodo. Esto no quiere decir que haya que escoger el más grande posible ya que puede provocar cordones excesivamente grandes y también aumentar los costos innecesariamente.

Para realizar soldaduras de materiales de gran espesor y para soldeo en posiciones planas se utilizan electrodos de diámetros mayores por sus altas tasas de deposición. Los diámetros más pequeños (2 mm a 4 mm) se utilizan para posiciones verticales y bajo techo debido a que el baño de fusión tiende a caer y con diámetros mayores no podríamos trabajar bien. Estos diámetros también se utilizan cuando se realizan pasadas múltiples para el cordón de raíz ya que así se consigue un acercamiento mayor del arco con el fondo de la unión para obtener una mejor penetración, después se completa la unión con electrodos de mayor diámetro.

Una vez explicados todos estos parámetros, en la siguiente imagen (Figura 14) se puede observar el efecto que provocan en el cordón de soldadura final si estos parámetros son mal aplicados, o no se tienen en cuenta las normativas, así como las condiciones de la pieza a unir.

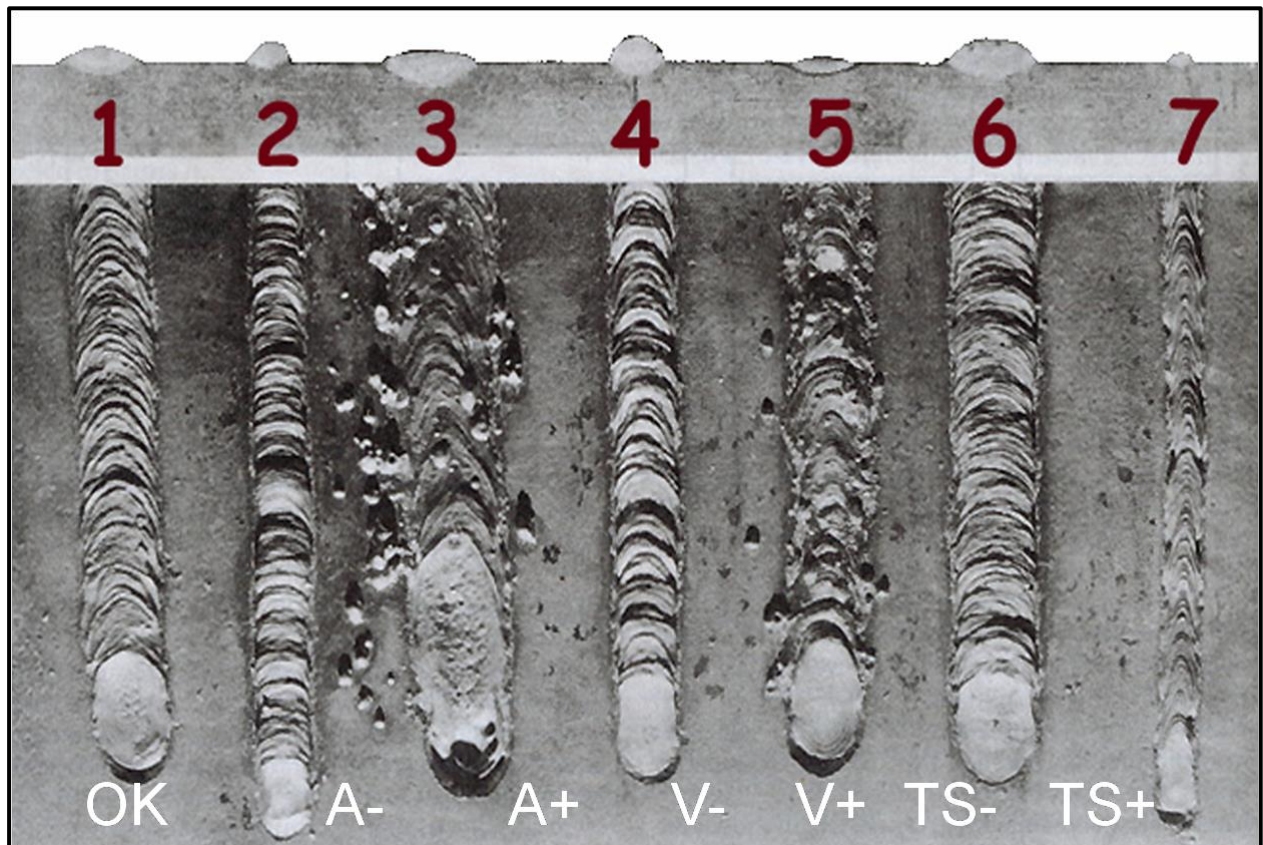


Figura 14. Efecto de los principales parámetros de soldeo en el cordón. Fuente: CESOL

1. Amperaje, longitud de arco y velocidad de desplazamiento correctas.
2. Amperaje demasiado bajo.
3. Amperaje demasiado alto.
4. Longitud de arco eléctrico demasiado corta.
5. Longitud de arco eléctrico demasiado larga.
6. Velocidad de desplazamiento demasiado lenta.
7. Velocidad de desplazamiento demasiado rápida.

Equipo necesario:

El equipo necesario para realizar este tipo de soldadura es muy básico, compuesto por el generador de corriente, los cables tanto el que va a masa como el que va hasta el porta electrodos, la pinza porta electrodos y los electrodos revestidos. Por ello este proceso de soldadura es uno de los más económicos y sencillos.

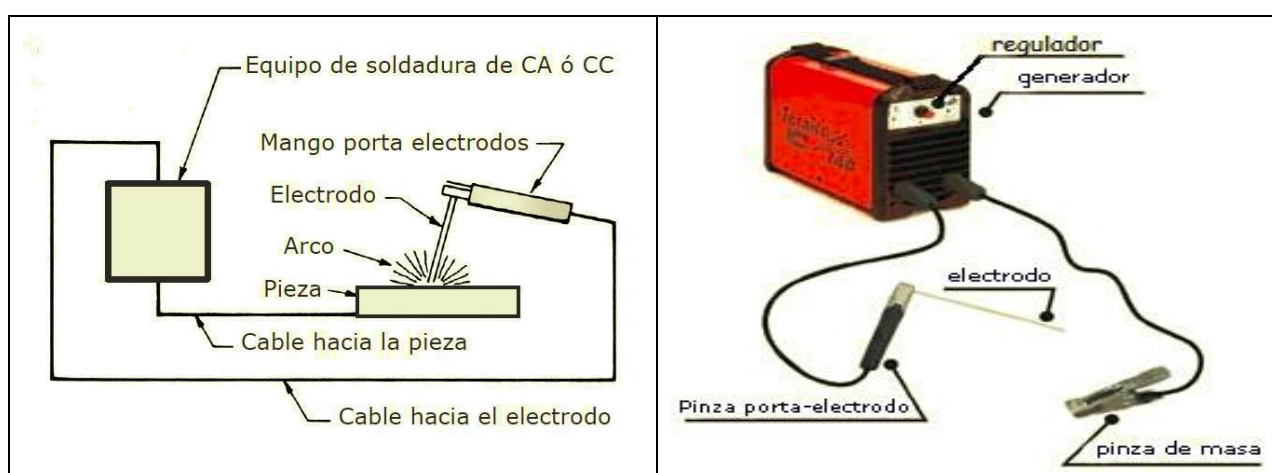


Figura 15 Esquema y foto de las partes del equipo SMAW. Fuente: ventageneradores.net

Fuente de energía

Este tipo de soldadura se emplea con bajas tensiones y alta intensidad, justo lo contrario que ofrece la red eléctrica de corriente alterna. Es por ello que necesitamos una maquina transformadora para ajustar la tensión y amperaje y una rectificadora en el caso de querer trabajar en corriente continua.

Existen dos tipos de máquinas de soldadura, las tradicionales que se han utilizado desde hace más de un siglo y las maquinas inverter, dotadas de más tecnología que aparecieron posteriormente hace ya más 30 años.

Las maquinas inverter son las más utilizadas en la actualidad, esto se debe a su fácil manejo, ligereza, reducido coste, tecnología digital que permite controlar y regular mucho mejor todos los aspectos de la soldadura.

Tabla 6. Comparativa entre maquinas tradicionales e Inverter. Fuente: Propia

Maquinas tradicionales	Maquinas inverter
Antiguas disponen de poca tecnología	Modernas, tecnología digital
Muy pesadas	Poco pesadas
Muy Grandes, transportar con ruedas	Pequeñas, fácil transportar
Poco versátiles, difíciles de usar	Muy versátiles, fáciles de usar
Caras	Baratas
Poco eficientes energéticamente	Eficientes energéticamente
Altos costes de mantenimiento	Bajo coste de mantenimiento

La normativa internacional que regula la simbología de las maquinas es la UNE-EN IEC 60974-1⁽¹³⁾.

Tabla 7. Principales símbolos de las máquinas de soldeo. Fuente: UNE 60974.

	Corriente Continua
	Corriente Alterna
	Salida Corriente Continua y Alterna
	Monofásica
	Trifásica
	Transformador monofásico
	Transformador-rectificador trifásico
	Convertidor estático de frecuencia transformador rectificador mono- o trifásico
	Inversor con salida en C.A y CC
	Transformador monofásico CA y fuentes de poder rectificador CC

Electrodos revestidos

Compuestos por un alma interior, una varilla de metal y un recubrimiento formado de diferentes compuestos y de espesor constante. Las funciones de los electrodos son las siguientes:

- Aportar metal para realizar la soldadura.
- Estabilizar el arco eléctrico.
- Protección del metal fundido del aire.
- Minimizar impurezas del interior de la soldadura.
- Añadir elementos aleantes al metal fundido.
- Ayudar al buen enfriamiento de la unión.

Son muchos los tipos de electrodos revestidos existentes en el mercado, es por ello que para clasificarlos se necesitaría un capítulo entero, se va a resumir en los electrodos y revestimientos con los que se trabajará en la parte práctica, que son electrodos para soldaduras de acero al carbono. Estos son clasificados por la ISO UNE-EN 3581:2016⁽¹⁴⁾, así como la normativa de consumibles para el soldeo ISO 2560:2010⁽¹⁵⁾

Los que se utilizaran en la parte práctica se reducen a los revestimientos: Ácido (A), Básico (B), Rutilio (R). Existen otros tipos de revestimientos de Rutilio como los Rutilo-Ácido (RA), Rutilo-Básico (RB), Rutilo-Celulosico (RC), además de revestimientos celulósicos (C) y otros más.

(14) **UNE-EN ISO 3581:2016**, Consumibles para el soldeo. Electrodos revestidos para el soldeo manual por arco de aceros inoxidables y resistentes al calor. Clasificación. (ISO 3581:2016, Versión corregida 2017-11-01)

(15) **UNE-EN ISO 2560:2010**, Consumibles para el soldeo. Electrodos recubiertos para el soldeo manual al arco de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación. (ISO 2560:2009)

Tabla 8. Características de los electrodos revestidos más comunes. Fuente: Propia

Tipo	Ácido	Básico	Rutilio
Composición	Óxidos de hierro y manganeso	Carbono cálcico y otros carbonatos	Rutilio (óxidos de titanio)
Características de la escoria	Fluida, porosa y abundante	Poca y densa, se separa fácilmente,	Muy densa y viscosa
Ventajas	Penetración elevada, así como vel. de fusión. Intensidades altas	Muy resistente a la fisuración en frío y caliente	Fácil cebado y manejo del arco. Cordón de soldadura regular y buen aspecto
Desventajas	Solo para metales de contenidos bajos en: azufre, fósforo y carbono.	Difícil manejo, arco muy corto, intensidades bajas.	No tienen efecto limpiador de las posibles impurezas en el cordón
Aplicaciones	Para aceros con bajo contenido en carbono	Para grandes responsabilidades, muy tenaz y válido para grandes espesores y estructuras rígidas	Es el más utilizado, Soldaduras de poca responsabilidad y placas finas.
Posición	Principalmente plana	Todas	Todas muy buenos para posición vertical y bajo techo
Tipo de corriente	CC y CA	CC (Inversa) y raras veces CA	CC y CA

Ventajas y desventajas:

Las ventajas de este proceso de soldadura son las siguientes:

1. Equipo de soldeo sencillo, barato y ligero que lo hace fácil de desplazar.
2. El mismo electrodo revestido es el encargado del aporte de material y gas protector, no es necesario protección adicional ni aportes de material externos.
3. Es un proceso menos sensible al viento por lo que su uso es posible en exteriores al aire libre, no limitándose solamente a talleres cubiertos.
4. Se puede utilizar en cualquier posición de soldeo, fácil acceso a lugares con restricción de espacio.
5. Es un método válido para todos los aceros, la mayoría de metales y aleaciones.
6. Abarca un gran rango de espesores a partir de 2 mm.

Las desventajas más destacables del proceso son:

1. Proceso con productividad media-baja comparado con otros, ya que es lento debido a la baja tasa de deposición teniendo que estar retirando la escoria repetidamente.
2. No es posible emplear esta soldadura con plomo, estaño y zinc debido al bajo punto de fusión de estos metales. Tampoco se puede emplear con el titanio, zirconio y otros metales de alta sensibilidad a la oxidación, puesto que el gas protector del revestimiento no es suficiente.
3. La habilidad requerida para este proceso deber ser media-alta.
4. No es válido para espesores menores a 1,5 mm. Además, para espesores superiores a 38 mm no resulta productivo y se emplean otros procesos.

La figura 16 muestra los puntos más característicos de la soldadura SMAW, se ha elaborado analizando los puntos fuertes y débiles de este proceso.

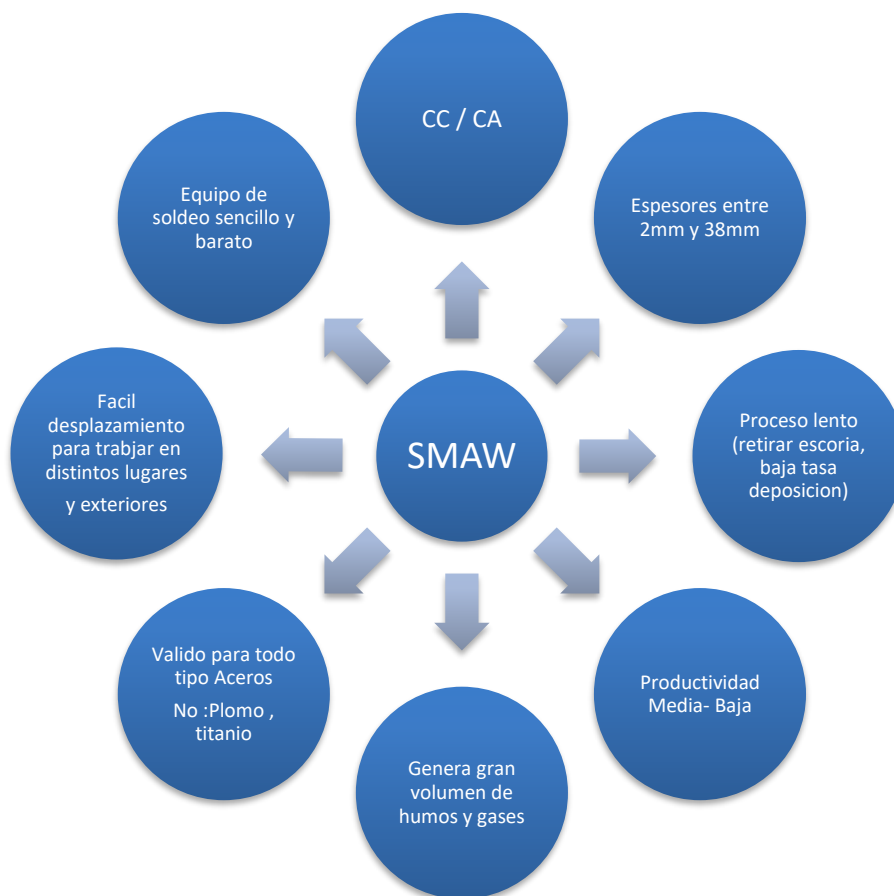


Figura 16. Características soldadura SMAW. Fuente: Propia.

2.2. Soldadura por arco con gas inerte y electrodo de Tungsteno (GTAW)

Este tipo de proceso es conocido como TIG (Tungsten Inert Gas) así como por las siglas GTAW del inglés (Gas Tungsten Arc Welding). Este método de soldadura utiliza el arco eléctrico entre el electrodo, en este caso no consumible, y la pieza a soldar como fuente de energía para fundir el metal. Tanto el gas inerte de protección del baño de fusión como el metal de aportación se añaden de forma externa al electrodo.

La soldadura TIG está muy extendida cuando se trata de trabajos que requieren de una alta calidad, exenta de defectos, linealidad y un buen acabado superficial. Con este proceso también podemos soldar todo tipo de materiales como el aluminio, magnesio y otros más sensibles a la oxidación como titanio, circonio y demás aleaciones. Este es un proceso muy preciso para realizar la pasada de raíz.

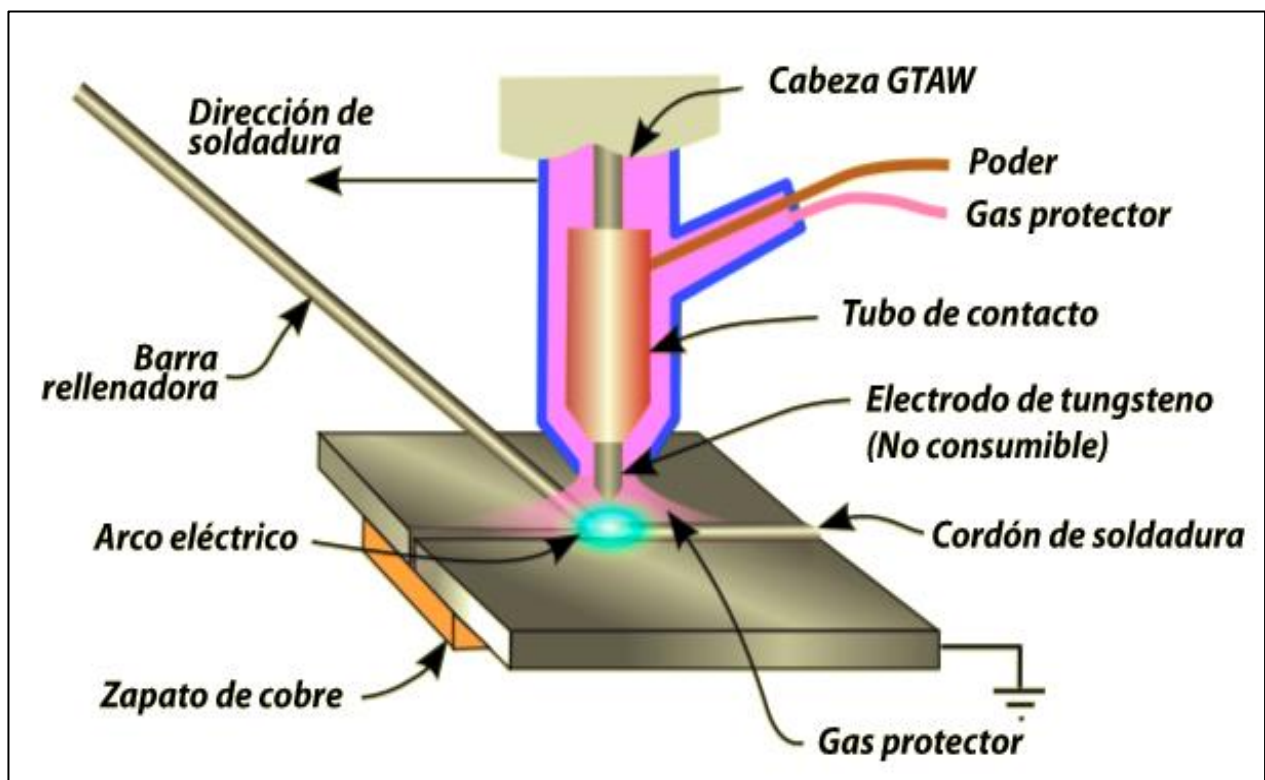


Figura 17. Esquema del proceso de soldeo TIG/GTAW. Fuente: Equipos y soldaduras RAFE.

De la misma manera que en la soldadura por electrodo revestido, en este proceso también son muy importantes ciertos aspectos a tener en cuenta conocidos como parámetros de soldeo. Los de este tipo de proceso son los siguientes cuatro:

1) Diámetro del electrodo:

Este parámetro es importante porque será el que determine la intensidad a utilizar en el proceso, ya que si se trabaja a una intensidad por debajo de lo indicado según el diámetro tendremos inestabilidad en el arco eléctrico. En el caso de que la intensidad sea demasiado alta para el diámetro del electrodo, ocasionaría erosión, fracturas en el extremo del electrodo, que podrían acabar en el cordón de soldadura.

Otro diámetro a tener en cuenta es el del interior de la tobera por donde fluye el gas de protección, ya que dependiendo del tamaño del electrodo este flujo de gas inerte se ve afectado.

2) Tipo de corriente:

Este tipo de soldadura puede realizarse tanto en corriente continua con polaridad directa o inversa, además de corriente alterna. El uso de un tipo de corriente u otra es debido básicamente al metal que se va a soldar.

Tabla 9. Características de soldeo de cada corriente. Fuente: CESOL

Tipo de corriente	Corriente continua	Corriente continua	Corriente alterna
Polaridad	Directa	Inversa	No hay
Acción decapantes	NO	SI	Si. En Semiciclo
Balance calórico	70% en pieza 30% punta electrodo	30% en pieza 70% punta electrodo	50% en pieza 50% punta electrodo
Penetración	Profunda y estrecha	Ancha poco profunda	Media
Comportamiento del electrodo	Excelente	Pobre	Bueno

Para saber cuándo es mejor utilizar cada tipo de corriente y polaridad en CC, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

-Corriente continua polaridad directa: Se obtiene mayor penetración, velocidad de soldeo más elevada, buen rendimiento térmico y se puede aplicar mayor intensidad en el electrodo.

-Corriente continua polaridad inversa: Menor penetración, baño más ancho, sobrecalentamiento del electrodo y posibles daños. Esta polaridad no es recomendada para aceros, pero si es muy utilizada para las uniones de aluminio y manganeso.

-Corriente alterna: Este tipo de corriente vendría a ser una mezcla de características de las anteriores. Buen proceder durante el periodo de polaridad directa y tiene el efecto decapante del baño durante el periodo de inversa. Una de las desventajas es el equipo de soldadura, ya que hay que añadirle al transformador un generador de alta frecuencia.

3) Intensidad de soldadura:

Como se ha visto anteriormente, el parámetro de la intensidad depende directamente de la corriente que se utilice y sobre todo de la polaridad con la que se vaya a trabajar. En polaridad directa, la temperatura del electrodo, en este caso el wolframio es menor que la se generara en el polo positivo lo que la energía se concentra en la pieza y por eso tendríamos que trabajar con intensidades mucho mayores a las que podríamos trabajar con polaridad inversa.

4) Velocidad de soldeo:

Este es una de los parámetros más importantes ya que afecta directamente al cordón de soldadura y por lo tanto al resultado final de la unión, ya que a mayor velocidad de soldadura la anchura del cordón aumenta y disminuye la penetración. Es por ello que siempre se intenta que sea la mínima posible para poder aumentar el rendimiento y la penetración. Pero hay que tener en cuenta que dependerá del tipo de unión a realizar, la calidad deseada y el tiempo invertido.

Equipo de necesario:

Los componentes que forman este equipo para la soldadura TIG son los siguientes: Fuente de energía, porta electrodos, el electrodo de wolframio, cables de soldeo, bombonas de gas protector, tubos para guiar el gas.

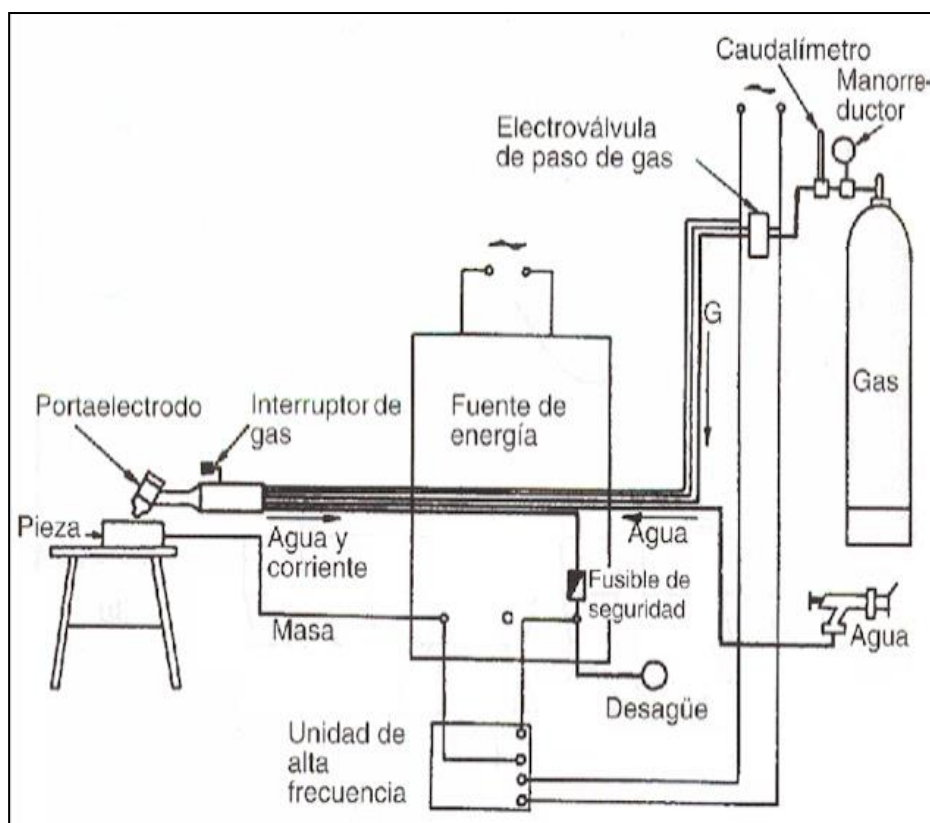


Figura 18. Esquema componentes que forman el equipo de soldeo TIG. Fuente: Ingenieriamecanicaymaas.com

-Fuente de energía:

La fuente de energía empleada varía según el tipo de corriente que se vaya a utilizar ya sea alterna o continua, aunque ambas cumplen la misma premisa de que la intensidad debe poder ajustarse en cada momento siendo la intensidad mínima de 5 - 8 A, además de tener un control de pendiente.

Tanto las máquinas de CC como las de CA están formadas por seis componentes principales, tres de ellos son los mismos para las dos máquinas y los otros tres diferentes en cada una.

Tabla 10. Componentes que forman la fuente de energía para CC y CA. Fuente: Propia.

Elementos compartidos las máquinas de CC y CA	
Transformador	
Válvula magnética del gas protector	
Módulo de control	
Componentes de máquina CA	Componentes de máquina CC
Generador impulsos alta frecuencia	Rectificador
Protector	Ventilador
Filtro capacitivo	Controlador agua de refrigeración

La diferencia más destacable entre las dos máquinas es el generador de impulsos de alta frecuencia, en la de corriente alterna, que sirve para lo que su nombre indica y además para elevar la intensidad para cebar el arco.

En la máquina de corriente continua vemos que esta el rectificador, que es para convertir la corriente alterna en corriente continua siendo esta con la que deseamos trabajar.

-Porta electrodo, soplete:

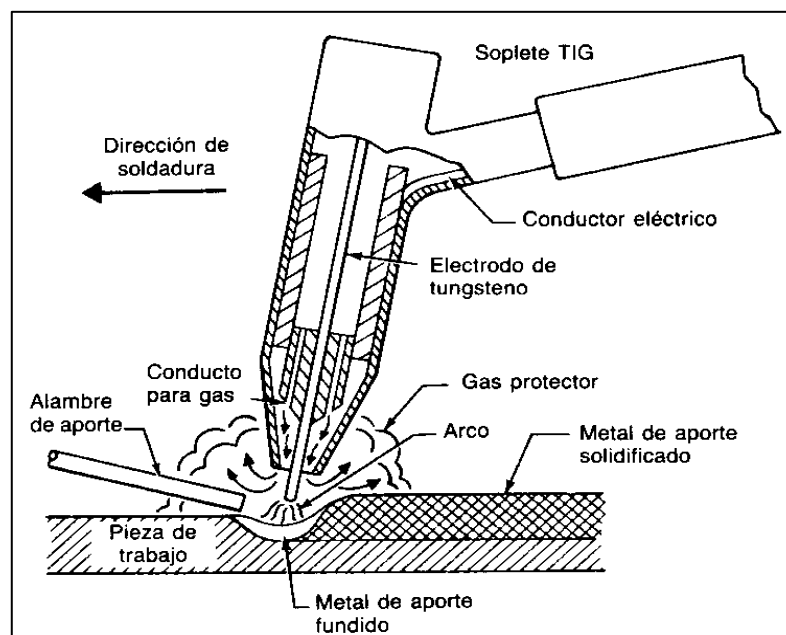


Figura 19. Dibujo de los componentes del porta electrodo para soldadura TIG. Fuente: Slevi1.mit.edu

Como su nombre indica la finalidad principal de este utensilio es la de hacer de soporte del electrodo, además también conduce la electricidad hasta la punta del electrodo para generar el arco eléctrico, otra de sus funciones es la de transportar el gas protector al baño de fusión. En el caso de que se trabaje con intensidades mayores a 200 A, estos también tendrán un conducto de refrigeración líquida para evitar sobrecalentamientos.

Los electrodos son de Wolframio, pueden ser puros o aleaciones del Wolframio con Lantano o Cerio. La longitud de los electrodos es de 150 mm y hay diámetros desde 1 mm hasta los 6,4 mm normalmente.

Las varillas consumibles para añadir el metal de aportación son necesarias para la unión de piezas con espesores superiores a 3 mm. Estas varillas suelen tener una longitud de 1000 mm y unos diámetros de entre 1,1 mm y 4,8 mm dependiendo de los espesores a soldar.

La clasificación de estas varillas de metal de aportación según la *American Welding Society* es la siguiente:

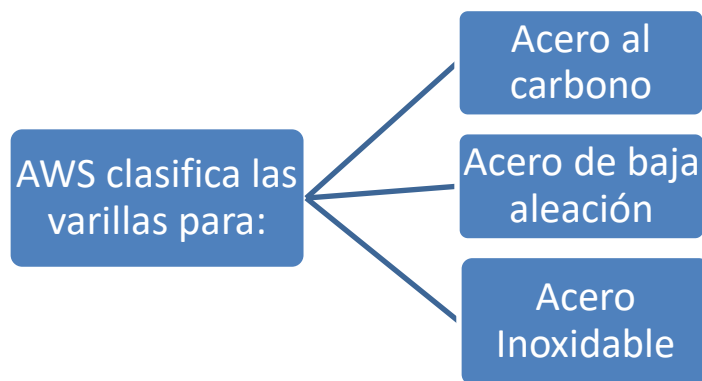


Figura 20 Clasificación de las Varillas consumibles. Fuente: AWS

-Gases de protección:

Los gases inertes de protección utilizados en la soldadura TIG, crean una atmósfera sobre el metal fundido para evitar la contaminación de esta del Oxígeno, Nitrógeno y otras partículas que puedan afectar al cordón de soldadura.

Estos gases son el Helio y el Argón, también podemos encontrar combinaciones de Argón con Helio, Argón con Hidrogeno, o Argón con Helio e Hidrogeno.

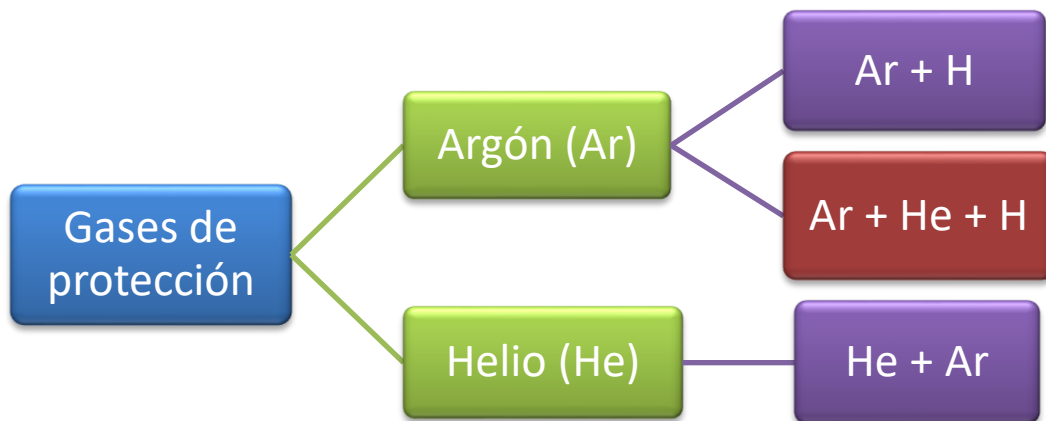


Figura 21. Gases de protección inertes y sus combinaciones. Fuente: Manual del soldador

La elección del gas es importante ya que dependiendo de un gas u otro obtendremos unos resultados muy distintos del cordón.

Si se utiliza Argón se obtiene mayor penetración. Con el Helio se obtiene mayor anchura, pero poca penetración y con una combinación de ambos gases también es una mezcla de penetración y anchura.

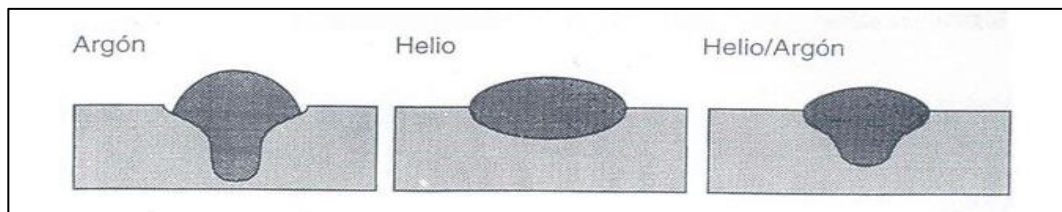


Figura 22. Características del cordón en función del gas empleado. Fuente: CESOL

Las principales características de los gases de protección son:

- Argón:

- 1) Mayor penetración que el Helio, ya que su poca conductividad hace que el calor se concentre más en la zona a soldar.
- 2) Ofrece una gran protección. Esto se debe a su gran densidad que es 1,4 veces superior a la del aire.
- 3) Fácil cebado. El cebado realiza más fácilmente con Argón que con Helio.
- 4) Arcos estables debido a su baja energía de ionización, pocas proyecciones.

5) Perfecto para espesores pequeños. Puesto que, al tener poca energía de ionización, se reducen las tensiones y los arcos generados son menos intensos con menos aporte de calor y así la pieza no se ve afecta.

6) Gas más barato que el Helio en Europa.

- Helio:

1) Alto potencial de ionización. Lo que generara arcos menos estables y un elevado aporte térmico.

2) Perfecto para grandes espesores.

3) Alta conductividad. Generando cordones anchos y con poca penetración.

4) Densidad baja. Lo que hará que el caudal con el que se tiene que trabajar aumente sea hasta tres veces mayor que con el Argón.

5) Velocidad de soldeo mayor. Por la mayor aportación térmica.

- Argón/Helio:

1) Las propiedades de este tipo de mezclas dependerán según la proporción que contenga de cada gas.

- Hidrogeno: Se emplea como aditivo con el Argón por los siguientes motivos.

1) Aumenta el aporte térmico.

2) Aumenta la velocidad de desplazamiento.

3) Aumenta la anchura y penetración del cordón.

La normativa que se encarga de clasificar los diferentes gases y mezclas en grupos, de su simbología y como referirse a ellos es la UNE-EN ISO 14175:2009⁽¹⁶⁾.

(16) **UNE-EN ISO 14175:2009**, Consumibles para el soldeo. Gases de protección para el soldeo por fusión y procesos afines. (ISO 14175:2008)

Tabla 11. Propiedades físicas y químicas de los gases de protección. Fuente: ISO 14175.

Tipo de Gas	Símbolo químico	Densidad ^a Kg/m ³	Densidad relativa al aire	Punto de ebullición ^b °C	Reactividad durante el soldeo
Argón	Ar	1,784	1,380	-185,9	Inerte
Helio	He	0,178	0,138	-268,9	Inerte
Dióxido de carbono	CO ₂	1,977	1,529	-78,5	Oxidante
Oxígeno	O ₂	1,429	1,105	-183,0	Oxidante
Nitrógeno	N ₂	1,251	0,968	-195,8	Reactividad baja
Hidrógeno	H ₂	0,090	0,070	-252,8	Reductor

^a Densidad a 0°C y 0,101 MPa

^b a 0,101 MPa

Los principales grupos de gases en las que están separados son:

- Grupo I: Gases Inertes y mezclas de gases inertes.
- Grupo M: Mezclas oxidantes que contienen O₂ y/o CO₂. Dentro del cual encontramos.
 - M1 que es con mezclas de hasta un 5% de CO₂, un máximo de un 3% de O₂ y el resto Argón.
 - M2 para mezclas con hasta un 25% de CO₂, un máximo de 10% de O₂ y el resto Argón
 - M3 mezclas con un máximo de 50% de CO₂, un máximo de 15% de O₂, y el resto de Argón
- Grupo C: Gas y mezclas altamente oxidantes.
- Grupo R: Mezclas de gases reductores.
- Grupo N: Gas de baja reactividad o mezclas de gases reductores con Nitrógeno.
- Grupo O: Oxígeno.
- Grupo Z: Mezclas de gases que contengan componentes diferentes a las anteriores.

Estos grupos principales también están divididos en subgrupos, basados en la presencia y nivel de diferentes componentes que tengan una influencia en la reactividad.

Tabla 12. Clasificación de gases para el soldeo por fusión y técnicas afines. Fuente ISO 14175.

Símbolo		Componentes en tanto por ciento nominal en volumen					
Grupo principal	Sub-grupo	Oxidante		Inerte		Reductor	Baja reactividad
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂
I	1			100			
	2				100		
	3			resto	0,5 ≤ He ≤ 95		
M1	1	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5		resto ^a		0,5 ≤ H ₂ ≤ 5	
	2	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5		resto ^a			
	3		0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	resto ^a			
	4	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	resto ^a			
M2	0	5 < CO ₂ ≤ 15		resto ^a			
	1	15 < CO ₂ ≤ 25		resto ^a			
	2		3 < O ₂ ≤ 10	resto ^a			
	3	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5	3 < O ₂ ≤ 10	resto ^a			
	4	5 < CO ₂ ≤ 15	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	resto ^a			
	5	5 < CO ₂ ≤ 15	3 < O ₂ ≤ 10	resto ^a			
	6	15 < CO ₂ ≤ 25	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	resto ^a			
M3	7	15 < CO ₂ ≤ 25	3 < O ₂ ≤ 10	resto ^a			
	1	25 < CO ₂ ≤ 50		resto ^a			
	2		10 < O ₂ ≤ 15	resto ^a			
	3	25 < CO ₂ ≤ 50	2 < O ₂ ≤ 10	resto ^a			
	4	5 < CO ₂ ≤ 25	10 < O ₂ ≤ 15	resto ^a			
C	5	25 < CO ₂ ≤ 50	10 < O ₂ ≤ 15	resto ^a			
	1	100					
R	2	resto	0,5 ≤ O ₂ ≤ 30				
	1			resto ^a		0,5 ≤ H ₂ ≤ 15	
N	2			resto ^a		15 < H ₂ ≤ 50	
	1						100
O	2			resto ^a			0,5 ≤ N ₂ ≤ 5
	3			resto ^a			5 < N ₂ ≤ 50
	4			resto ^a		0,5 ≤ H ₂ ≤ 10	0,5 ≤ N ₂ ≤ 5
	5					0,5 ≤ H ₂ ≤ 50	resto
	1		100				
Z	Mezclas de gases que contengan componentes no listados o mezclas fuera de los rangos de composición listados. ^b						

^a Para el fin de esta clasificación, el argón puede sustituirse parcial o completamente por helio.

^b Dos mezclas de gases con la misma clasificación Z pueden no ser intercambiables.

Ventajas y desventajas:

Las ventajas en este proceso de soldadura son las siguientes:

1. Arco estable y concentrado, no hay proyecciones al no circular metal en el arco.
2. Valido para la mayoría de metales industrialmente empleados.
3. Proceso manual pero posible automatización con algunos trabajos.
4. Acabado liso y regular de la soldadura.
5. No produce escoria, no es necesaria una limpieza posterior.
6. Según la aplicación se puede emplear o no metal de aportación.
7. Proceso valido para todas las posiciones y tipos de uniones.
8. Soldadura final de gran calidad.
9. Altas velocidades para las soldaduras en espesores pequeños debajo de 3-4mm.
10. Las fuentes de energía no son caras.
11. Se puede controlar por separado la fuente de energía y el metal de aportación.
12. Proporciona una alta penetración para realizar pasadas de raíz
13. Este proceso no genera humos.

Las desventajas más destacables del proceso son:

1. Proceso con baja productividad debido a su baja tasa de deposición.
2. Realizar este tipo de soldadura requiere una gran habilidad del soldador.
3. Para espesores de más de 10 mm no resulta económico.
4. La soldadura debe realizarse en un ambiente controlado ya que las corrientes de aire pueden afectar al gas y la protección puede ser insuficiente.
5. Es necesaria más protección que en otros procesos debido a la cantidad de radiación ultravioleta que se desprende.

La figura siguiente muestra los puntos más característicos de la soldadura TIG. Se han recogido las fortalezas y debilidades más importantes en este proceso, para mostrarlas de una forma más visual.



Figura 23.Características soldadura GTAW. Fuente: Propia

2.3. Soldadura por arco metálico con protección de gas (GMAW)

El proceso de soldadura por arco metálico con protección de gas, también es conocido como MIG/MAG y por sus siglas GMAW del inglés (Gas Metal Arc Welding). Este tipo de soldadura obtiene el calor necesario para realizar la unión, mediante el arco eléctrico entre el electrodo consumible y el metal base. En este caso el electrodo y el consumible que se va depositando en la unión, es un alambre enrollado en una bobina que se va suministrando continuamente. Todo el proceso de unión en el que intervienen el arco eléctrico, el electrodo, metal fundido y las zonas que lo rodean, se protegen de la contaminación gracias al flujo de gas protector inerte (MIG) o gas activo (MAG) que aplica desde la boquilla de la pistola.

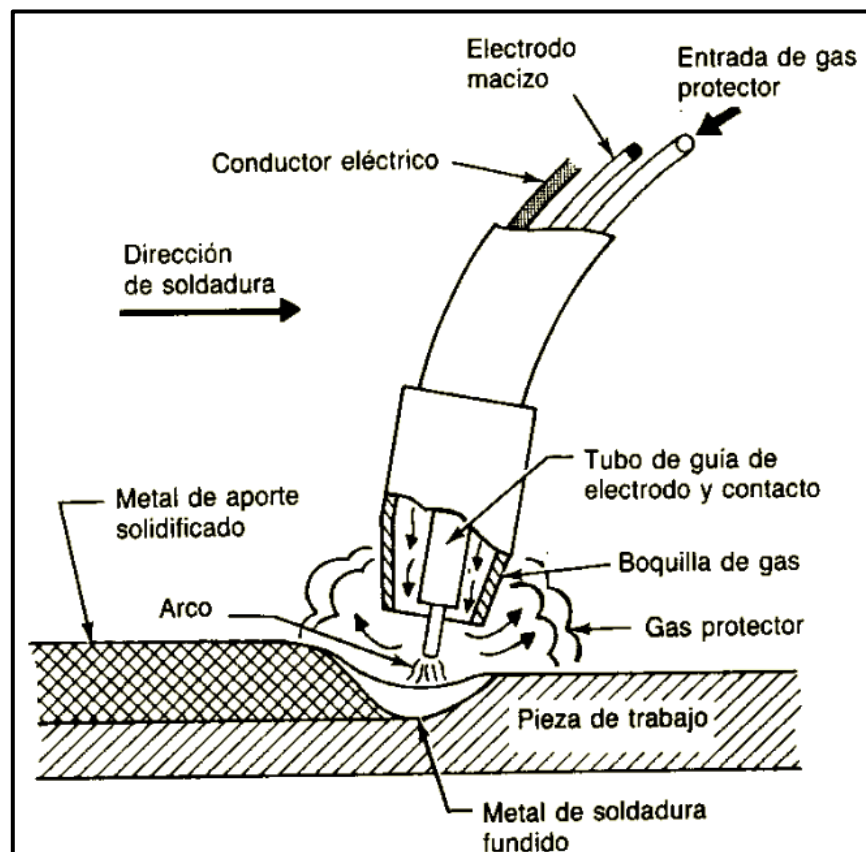


Figura 24. Representación del proceso de soldeo por GMAW. Fuente: ILMO

Debido a la complejidad del equipo de soldadura necesario para realizar este proceso de soldeo, los parámetros a tener en cuenta son más numerosos que en los procesos vistos anteriormente:

1) Intensidad:

A bajas intensidades esta varía de forma proporcional según la velocidad de alimentación del alambre, en tanto las otras variables no se vean afectadas.

Un aumento en la intensidad tendrá un efecto directamente proporcional en la profundidad, anchura de penetración, velocidad de deposición y en el cordón de soldadura.

2) Tipo de corriente y Polaridad:

Este proceso de soldeo actualmente solo se emplea con corriente continua, también es posible emplear corriente alterna, pero las máquinas actuales ya no la utilizan, puesto que el proceso requiere bajas tensiones y altas intensidades, justo lo contrario que proporciona la CA.

Para la mayoría de aplicaciones de este proceso se utiliza corriente continua con polaridad inversa, ya que se obtiene un gran rango de intensidades, arco eléctrico estable, pocas proyecciones y una mejor penetración.

3) Voltaje del arco eléctrico:

Al ser corriente continua el voltaje con el que se trabaja suele ser bajo, ronda los 16 - 40 V. El voltaje del arco es directamente proporcional a una bajada o subida de la longitud de arco. Pero no es el único factor que afecta el voltaje, también hay que tener en cuenta el gas de protección, el metal a trabajar y el diámetro del alambre.

Un voltaje elevado puede producir una mala protección y un arco poco estable debido a un incremento en la longitud de este, lo que origina proyecciones, porosidades y mordeduras.

4) Velocidad de soldadura:

Es la velocidad a la que se avanza el arco de forma lineal mientras se crea el cordón de soldadura. Mantener una velocidad baja, ocasiona pérdida de penetración ya que el arco eléctrico actúa sobre el baño de metal en vez de hacerlo en el metal base. Es por eso que es importante mantener una velocidad

constante y ligeramente rápida para que el arco eléctrico pueda llegar bien al metal base.

5) Longitud del alambre:

Esta puede ser tan larga como la bobina o el porta bobinas permita. Hay que tener en cuenta que la dimensión del electrodo en este caso será desde la punta donde se produce el arco hasta el otro extremo del alambre, esta longitud supone que exista una resistencia eléctrica lo que calentara el alambre. La subida de temperatura hará que el alambre se funda con intensidades más bajas y a mayor velocidad.

6) Diámetro del electrodo:

Dependiendo del espesor a unir, el tipo de soldadura y la posición, se escogerá un diámetro u otro, pero hay que tener en cuenta que cuanto más estrecho sea el diámetro mejor. A misma intensidad si el diámetro del electrodo es menor será más fácil su fusión, el cordón será más estrecho y profundo, además de tener arcos más estables.

7) Gases de protección:

Este proceso de soldadura se puede realizar tanto con gases inertes, activos o una mezcla de los dos. La elección de uno u otro depende de diferentes factores como el metal con el que se trabaje, la calidad necesaria, costes, etc.

Gas inerte significa que el gas no actúa activamente en el proceso de la soldadura, lo que genera mucha estabilidad. Por lo general se trabaja casi siempre con gases inertes con metales no ferrosos como el titanio, aluminio, cobre, se pueden usar gases inertes de alta pureza. Siendo estos el argón en Europa y el helio en Estados Unidos. Las características de estos gases se mantienen como se ha visto en el proceso TIG. Para la soldadura de aceros es necesario mezclar el argón o el helio con gases activos como el oxígeno o el CO₂.

Los gases activos, se comportan de forma inerte en cuanto a la contaminación de la soldadura, pero sí que actúan termodinámicamente en la soldadura. El gas activo más utilizado es el CO₂ debido a que es inodoro, incoloro y pesa 1,5 veces más que el aire, es más barato que los demás y se obtiene mayor penetración, pero genera muchas proyecciones.

Tabla 13. Propiedades de los gases de protección activos. Fuente: SITASA

Propiedades	Ar/CO ₂	Ar/O ₂	CO ₂
<u>Penetración</u> -Posición normal -Posición forzada	Buena Más segura con CO ₂	En posición forzada el exceso de fluidez del baño puede limitar la penetración	Buena Segura
Calentamiento de la pistola	Disminuye con aumento de CO ₂	Alto calentamiento	Reducido
Grado de Oxidación	Aumenta con incremento de CO ₂	Alto si el porcentaje de O ₂ es mayor del 8%	Alto
Porosidad	Disminuye aumentando el CO ₂	Muy sensible	Segura
Relleno de chaflan	Mejora si disminuye el CO ₂	Buena	Peor que con mezcla de gases
Salpicaduras	Aumentan con incremento de CO ₂	Reducida	Muchas
Aporte térmico	Moderado. Aumenta junto el CO ₂	Moderado	Alto
Emisión de Ozono	Baja	Normal	Normal
Estabilidad del arco	Mejora con adición de NO	Buena	Normal

Del mismo modo que en el proceso TIG, la normativa encargada de clasificar en grupos y subgrupos, los porcentajes de gases, mezclas y de su designación, es la normativa UNE-EN ISO 14175:2009.

Equipo de necesario:

El equipo necesario para realizar este tipo de soldadura, es el más complejo y costoso de los analizados. Consta de: fuente de alimentación, soplete, control velocidad de alambre, alimentador de alambre, circuito de refrigeración, cables, mangueras, regulador de suministro del gas.

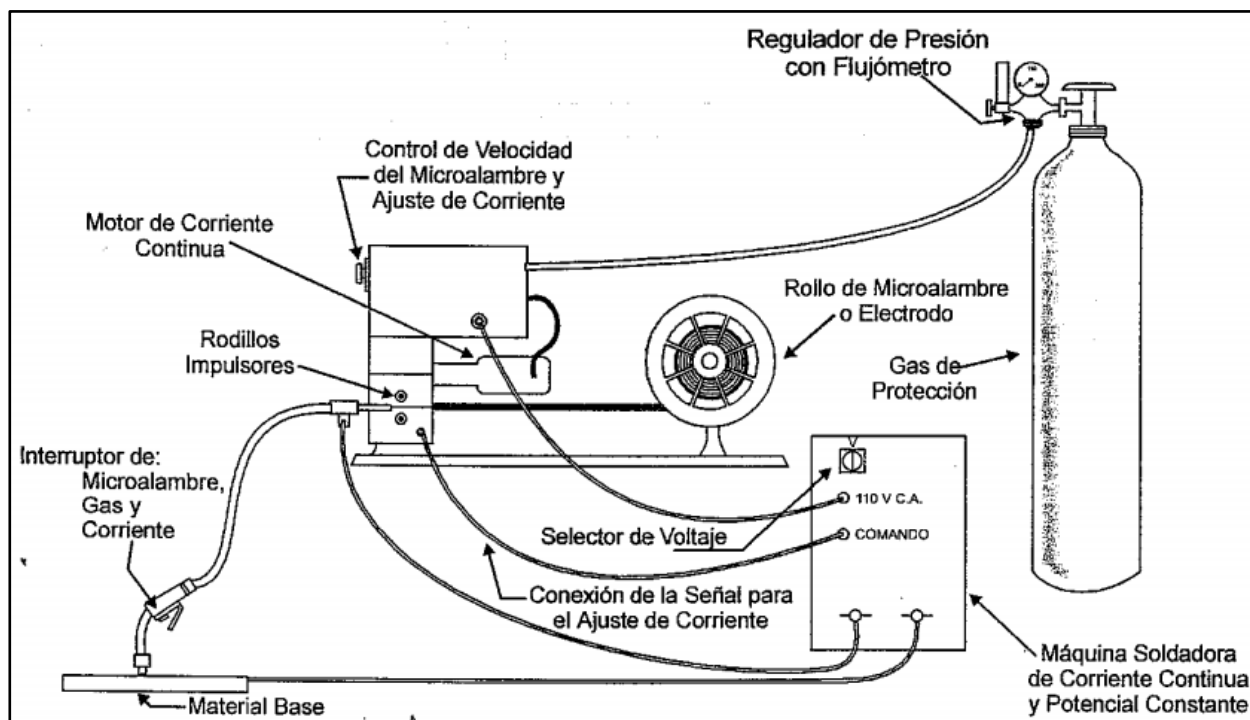


Figura 25. Esquema del equipo MIG/MAG. Fuente: Universidad Autónoma de Coahuila.

-Fuente de alimentación:

En la soldadura GMAW casi siempre se trabaja en corriente continua con polaridad inversa para conseguir una buena penetración. La fuente de alimentación consta de un rectificador que transforma la corriente alterna suministrada para disminuir su voltaje a (15 - 40 V) y aumenta la intensidad sobre los (90 - 550 A), para poder trabajar en corriente continua en esas condiciones.

-Soplete:

Los sopletes empleados en este tipo de proceso són de mayor complejidad que los utilizados en las anteriores soldaduras. Esto se debe a que el alambre debe moverse en su interior, el soplete es el encargado de suministrar la intensidad al alambre, aportar el gas protector en la proporción y dirección adecuada, los conductos de refrigeración en caso de ser necesaria ya sea líquida o por aire.

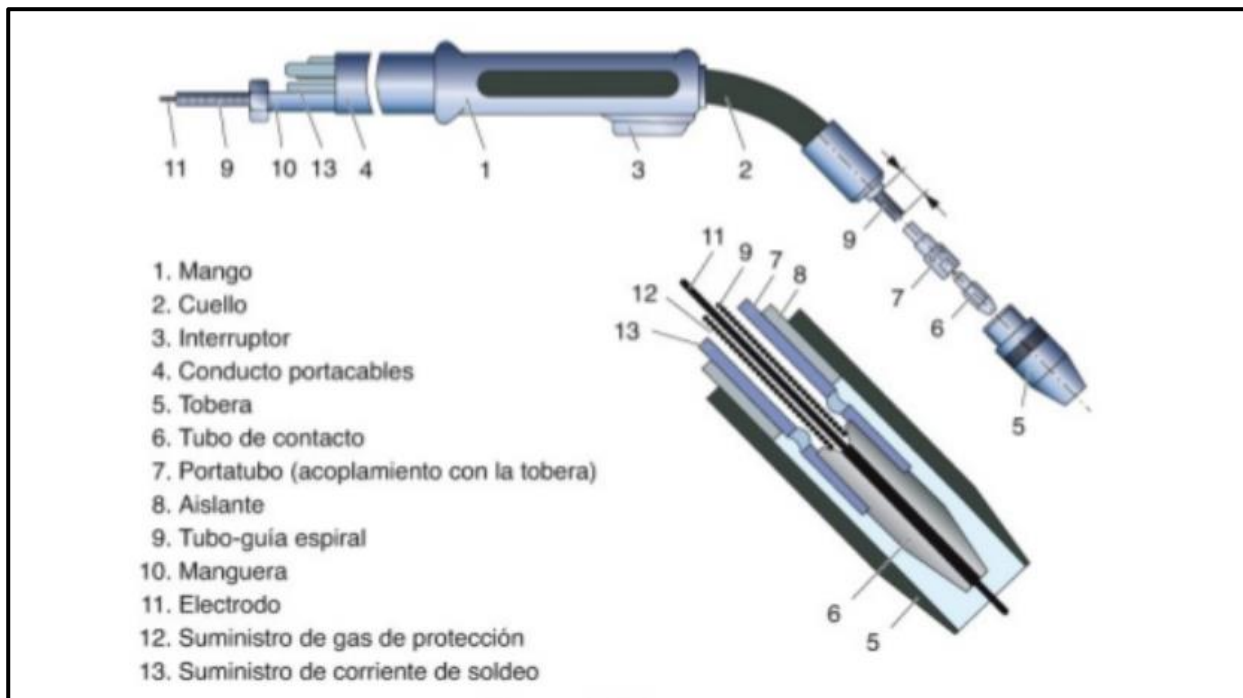


Figura 26. Partes de un soplete MIG/MAG. Fuente: Albertourquia.blogspot

Tipos de transferencia:

Esta puede realizarse de dos modos. Las gotas se desprenden del alambre y se desplaza por el arco hasta el metal base o directamente cuando el alambre entra en contacto con la pieza, se desprende del mismo y se añade al cordón.

Las transferencias más conocidas y empleadas son:

- > Por cortocircuito: En polaridad inversa, emplea gas de protección CO_2 o $\text{CO}_2 + \text{Ar}$, con intensidades muy bajas, una estabilidad del arco normal pero poca penetración.
- > Arco globular: Usa polaridad directa, usa como gas de protección CO_2 , funciona a bajas intensidades, mala estabilidad del arco y tiene muy poca penetración.
- > Arco spray: Polaridad Inversa, gases de protección Ar o $\text{Ar} + \text{O}$, intensidades muy altas, tiene una gran estabilidad de arco y buena penetración.
- > Arco Pulsado: Es el tipo de transferencia con el que se trabajara en la parte práctica. Trabaja en polaridad inversa, gases Ar o $\text{Ar} + \text{CO}_2$, en altas intensidades, con una gran estabilidad del arco y una buena penetración.

Combina dos tipos de corrientes, una más floja y otra creada por las pulsaciones del arco a una frecuencia. Una mantiene el arco activo y la otra va generando pulsaciones a una intensidad que funde el electrodo y genera material de aporte. En cada pulsación se genera una gota que se separa antes de que haga contacto con la pieza y no produce proyecciones.

Ventajas y desventajas:

Las ventajas de este proceso de soldadura son las siguientes:

1. Este proceso permite soldar todos los metales y aleaciones comerciales.
2. Al ser continuo el flujo del electrodo y al mismo tiempo el metal de aportación se ahorra mucho tiempo al no parar para sustituirlo y se pueden realizar cordones de soldadura de gran longitud y sin la existencia de empalmes.
3. Es posible realizar soldaduras en todas las posiciones.
4. Soldadura fácil de adaptar a procesos robotizados o automatizar la producción.
5. Se obtienen velocidades de soldadura y de deposición más altas no teniendo que limpiar la escoria, puesto que no se genera y se aumenta la productividad.
6. El rango de espesores que abarca es muy amplio, partiendo desde los 0.5mm hasta espesores muy grandes y ya existen otros procesos más productivos.
7. Se obtienen uniones de gran resistencia.

Las desventajas más destacables de este proceso son:

1. Equipo de soldadura más complejo y costoso.
2. Al ser un equipo más aparatoso existen más dificultades para acceder a realizar determinadas uniones ya que la pistola debe estar a una cierta distancia para obtener una buena protección.
3. El proceso solo se puede llevar a cabo en interior de taller, debido a que el viento o simples brisas pueden hacer que el gas no actúe correctamente.

4. La ausencia de escoria produce que las uniones de enfríen más rápido y eso puede generar grietas en determinados materiales.
5. A altas intensidades es necesaria la refrigeración por agua en la pistola ya que la del gas no sería suficiente y se podría dañar la pistola.

La figura 27 muestra los puntos más característicos de la soldadura GMAW. Se han recogido las fortalezas y debilidades más significativas de este proceso, para mostrarlas de una forma esquemática.

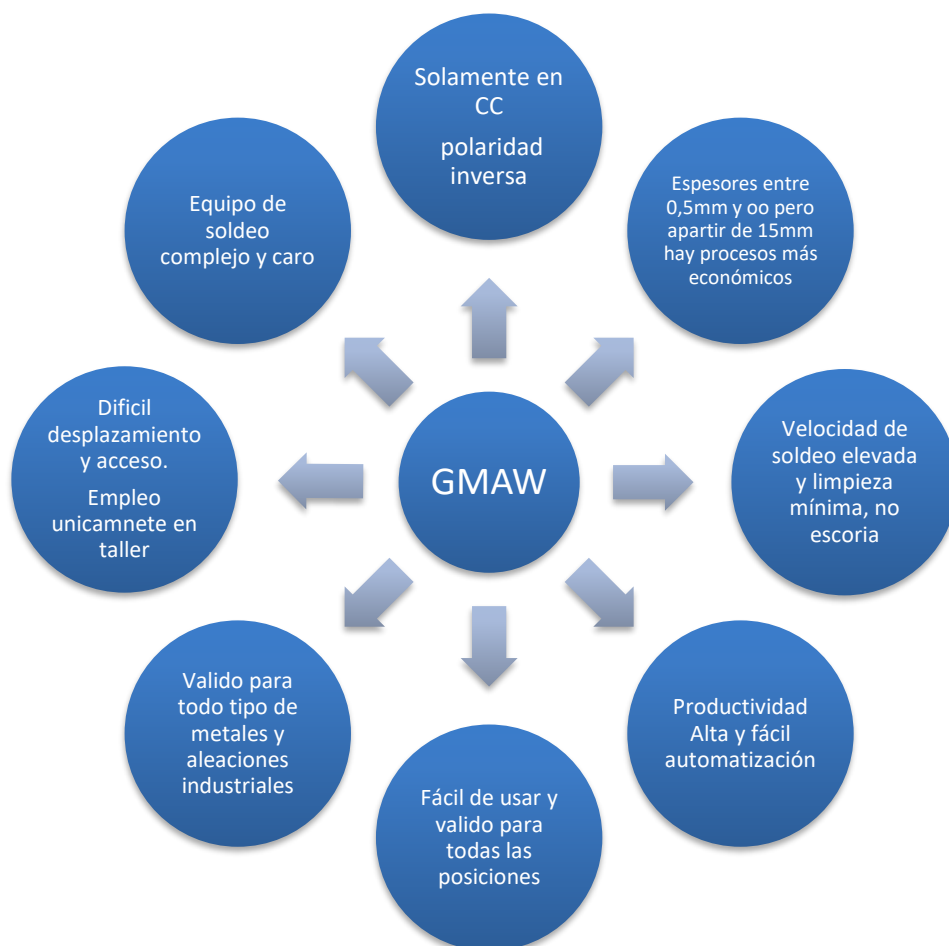


Figura 27. Características soldadura GMAW. Fuente: Propia

Capítulo 3. Tipos de uniones

3.1 Simbología de la soldadura.

La soldadura como cualquier proceso sigue una serie de directrices, códigos y normas, para que todos los operarios se rijan por una serie de pautas para realizar los trabajos. Muchas de las piezas o estructuras son diseñadas mediante planos técnicos que luego se entregan a los operarios para su ejecución, es por eso que se han creado una serie de códigos y simbología universal para no generar dudas o errores y se vea afectado el producto final.

En la siguiente imagen (Figura 28) se muestran unos de los diseños más habituales en soldadura, ayudara a entender el resultado final de la misma, pero gracias a las especificaciones que se muestran en los planos a través de símbolos se puede saber: tipo de proceso a utilizar, metal de aportación, ángulo de inclinación, dirección de soldadura, etc.

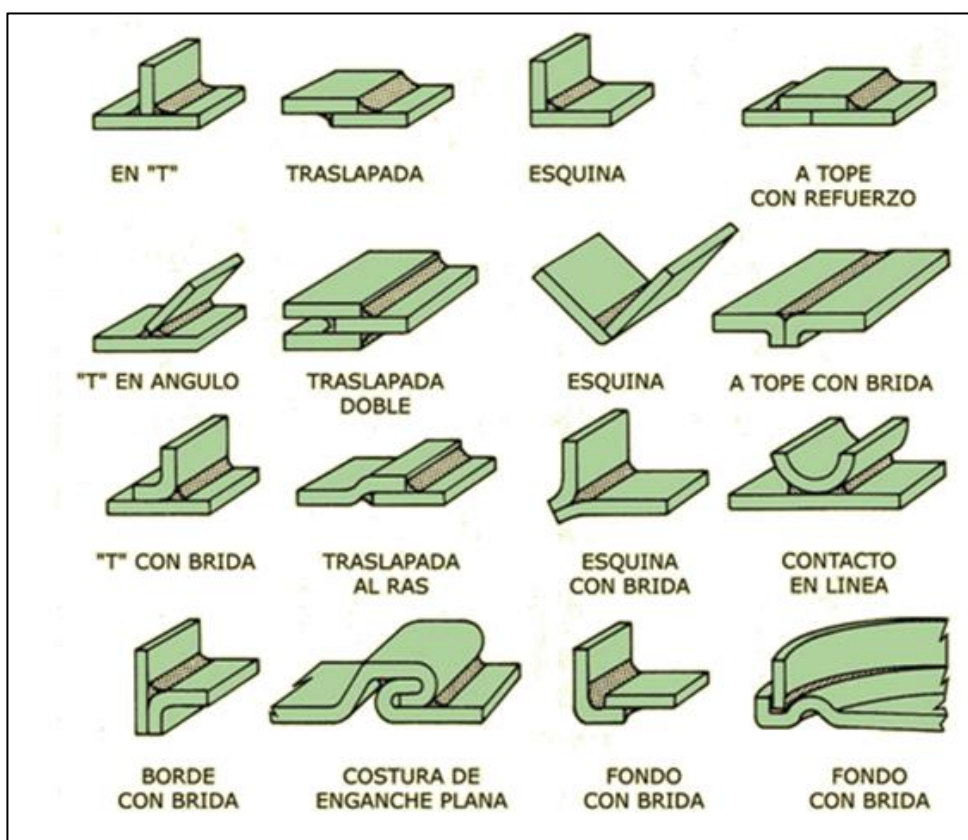


Figura 28. Diseño de uniones más habituales en soldadura. Fuente: web tecnología-técnica.

La normativa internacional encargada de la representación simbólica en los planos de las uniones soldadas es la ISO 2553⁽¹⁷⁾, que es de la que se extraerá toda la información y figuras mostradas a continuación para poder resumir un poco el extenso tema de los símbolos en la soldadura.

Se utiliza el símbolo de soldeo básico si los detalles de la unión no están especificados y el único requisito es indicar que la unión ha de ser soldada.

Leyenda

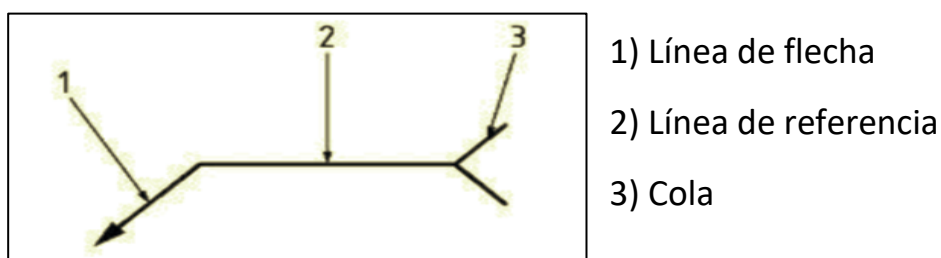


Figura 29. Símbolo de soldeo básico. Fuente: ISO 2553.

Al símbolo de soldeo básico se le añade un banderín relleno en la esquina en la que se unen las líneas de flecha y referencia si la soldadura se realiza en el campo o en la obra (Figura 30). También se añade un círculo rodeando la misma esquina del símbolo si la soldadura es continua alrededor de toda la unión.

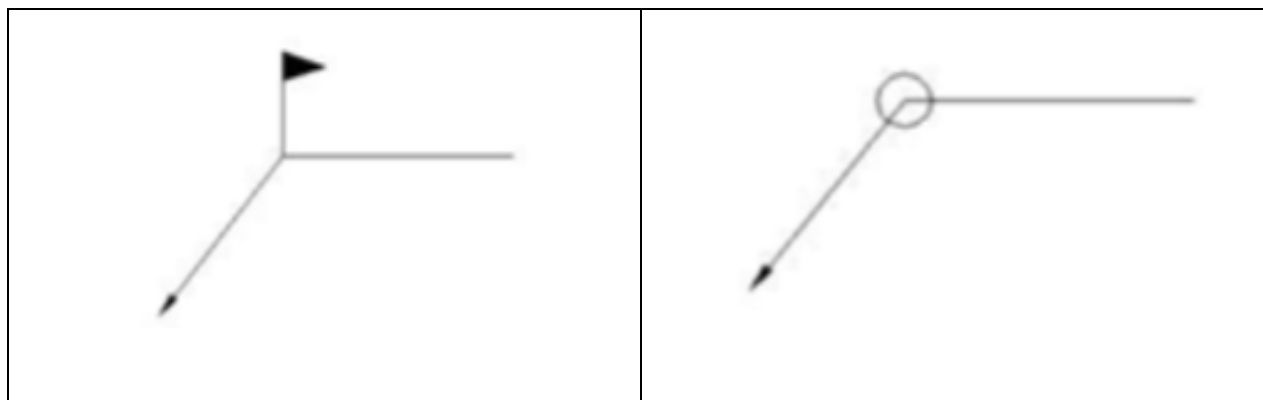


Figura 30. Indicador de soldadura en el campo u obra. Indicador de soldadura continua alrededor de la unión. Fuente: ISO 2553.

Los símbolos elementales se añaden a la línea de referencia del símbolo de soldadura, en el medio generalmente, indican el tipo de soldadura a realizar. Los

(17) **UNE-EN ISO 2553:2014**, Soldeo y procesos afines. Representación simbólica en los planos. Uniones soldadas. (ISO 2553:2013).

símbolos elementales pueden ser completados añadiendo símbolos suplementarios que contienen más información sobre la soldadura requerida.

De mismo modo que pasa con los planos, que necesitan una normativa que controle su simbología, existe la misma necesidad con las distintas máquinas y procesos de soldadura. La normativa internacional que controla estos aspectos es la UNE-EN IEC 60974-1.

Tabla 14. Simbología de los procesos de soldadura. Fuente: UNE-EN IEC 60974-1.
























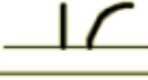


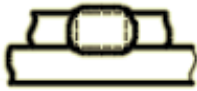



















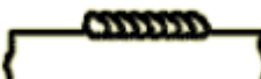

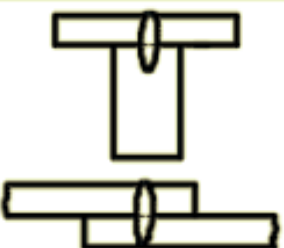

Símbolo	Proceso
	Soldadura manual al arco de electrodos revestidos
	Soldadura por arco con gas inerte y electrodo de tungsteno
	Soldadura con arco con gas inerte o activo con hilo macizo o forrado
	Soldadura al arco con hilo forrado sin gas
	Soldadura por arco sumergido
	Soldadura por plasma

Tabla 15. Símbolos elementales. Fuente: ISO 2553.

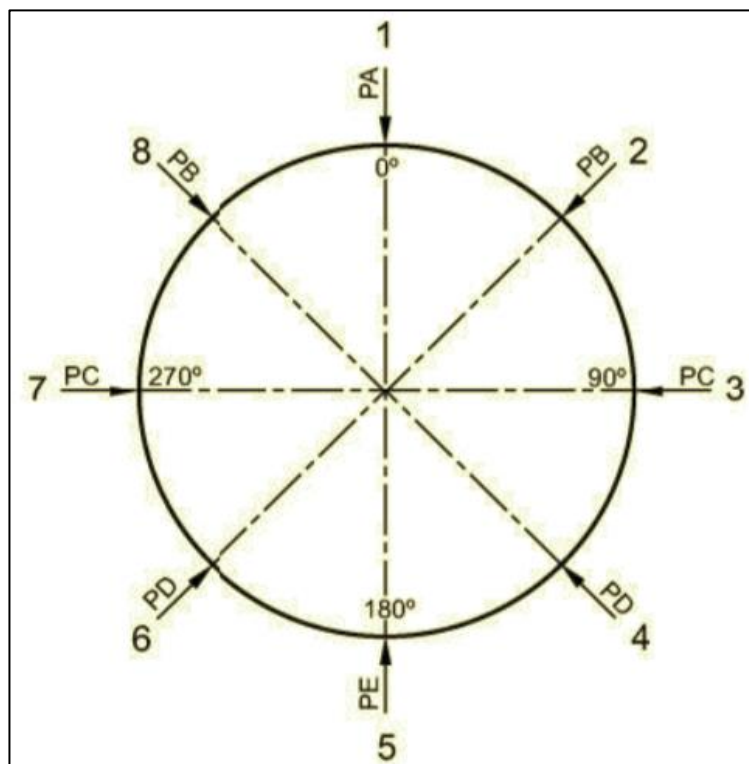
Nº	Designación	Representación	Símbolo
1	Soldadura a tope con los flancos rectos		
2	Soldadura a tope en V simple		
3	Soldadura a tope en V simple con talón de raíz amplio		
4	Soldadura a tope en bisel simple		
5	Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		
6	Soldadura a tope en U simple		
7	Soldadura a tope en J simple		
8	Soldadura con bisel doble redondeado		
9	Soldadura con bisel redondeado		
10	Soldadura en ángulo		
11	Soldadura de tapón (en ojal o botón)		
12	Punto de resistencia (incluyendo el soldeo por protuberancias en el sistema A)		

Nº	Designación	Representación	Símbolo
13	Punto de fusión (incluyendo el soldeo por protuberancias en el sistema B)		
14	Soldadura por costura		
15	Soldadura por fusión		
16	Soldadura de espárrago		
17	Soldadura a tope en V simple con flancos empinados		
18	Soldadura a tope en bisel simple con flancos empinados		
19	Soldadura de canto		
20	Soldadura a tope rebordeada y uniones en esquina rebordeada		
21	Recargue		
22	Soldadura en puntal		

3.2 Posiciones de soldeo.

Antes de realizar una soldadura hay que tener en cuenta en qué condiciones de trabajo nos encontramos, ya que la posición en la que se vaya a realizar la soldadura afecta o puede afectar al resultado final. La mejor posición para soldar es la plana o bajo mano, ya que para el operario resulta más fácil en cuanto a visibilidad, movilidad y el metal puede depositarse bien además de enfriarse en buenas condiciones. Como es lógico soldar en posiciones verticales o bajo techo, tiene la dificultad añadida de que la gravedad actúa sobre el metal fundido y tiende a caer. Es por eso que se han desarrollado diferentes técnicas para soldar según en la posición que nos encontremos para realizar la soldadura.

La normativa que se ocupa de clasificar las posiciones de la soldadura es la ISO 6947⁽¹⁸⁾ actualizada por última vez en el 2011, que es la que se tomará como referencia y se seguirá. La AWS también tiene su propia clasificación en cuanto a cómo nombrar las posiciones también serán mencionadas, ya que es un organismo de referencia muy importante.



1: Plano

2 y 8: Horizontal y vertical

3 y 7: Horizontal

4 y 6: Horizontal bajo techo

5: Bajo techo

Figura 31. Posiciones principales de soldadura. Fuente: ISO 6947.

(18) UNE-EN ISO 6947:2011, Soldaduras. Posiciones de trabajo. Definición de los ángulos de pendiente y de rotación. (ISO 6947:2011)

En la siguiente tabla se muestra una representación visual de las posiciones de soldeo y aparece su denominación tanto con la designación de la norma internacional ISO como la designación de acuerdo con la estadounidense AWS.

Tabla 16. Designación de las posiciones de soldeo según las normas ISO 6947 y AWS A3.0.

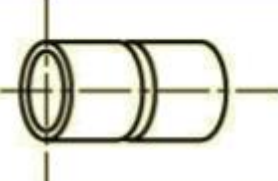



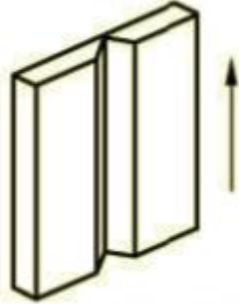
Ilustración	Posición de soldeo de acuerdo con AWS A3.0 ^[4] y ASME Sección IX ^[3]	Posición de soldeo de acuerdo con esta norma internacional
 <p>Posición plana (tubo rotando)</p>  <p>Posición plana</p>	1G	PA
 <p>Posición horizontal</p>  <p>Posición horizontal</p>	2G	PC
 <p>Posición vertical ascendente</p>	3G ascendente	PF

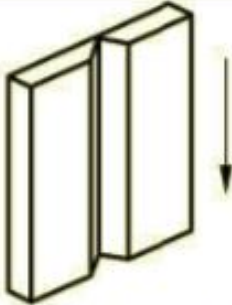
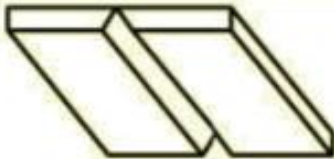
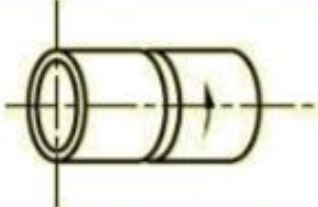
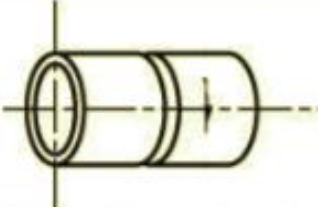
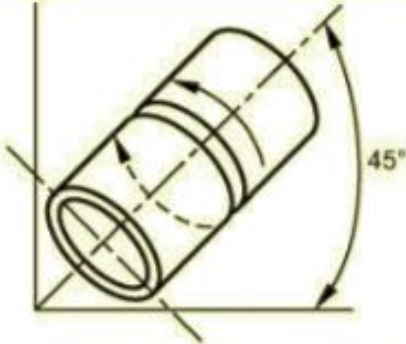
Ilustración	Posición de soldeo de acuerdo con AWS A3.0 ^[4] y ASME Sección IX ^[3]	Posición de soldeo de acuerdo con esta norma internacional
 Posición vertical descendente	3G descendente	PG
 Posición bajo techo	4G	PE
 Posición vertical ascendente (tubo fijo)	5G ascendente	PH
 Posición vertical descendente (tubo fijo)	5G descendente	PJ
 Posición inclinada ascendente (tubo fijo)	6G ascendente	H-L045

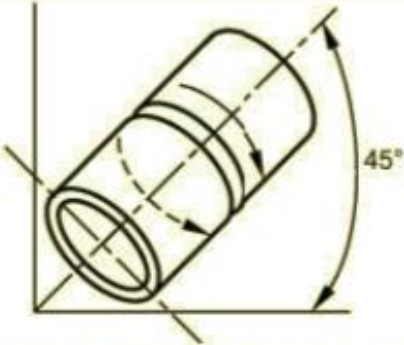

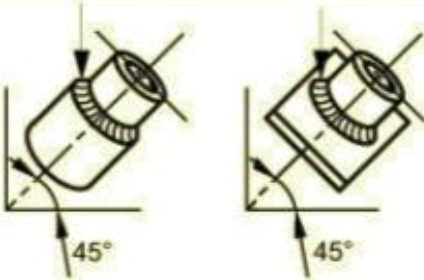
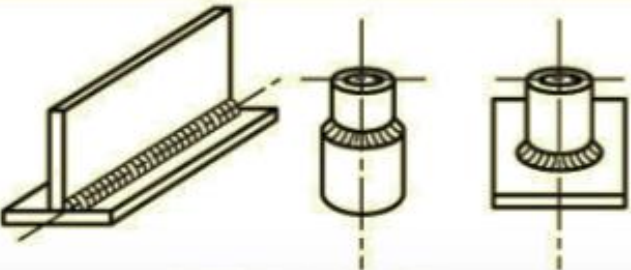
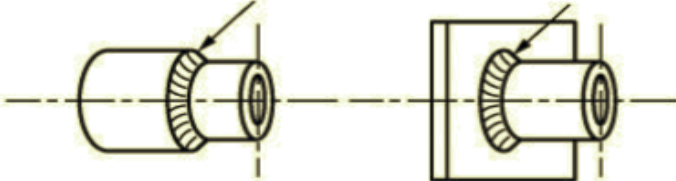
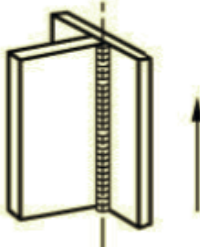
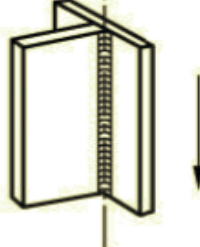

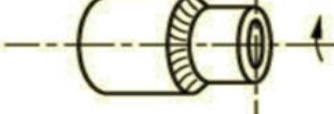
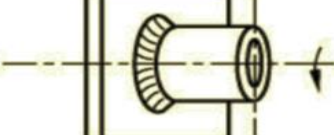
Ilustración	Posición de soldeo de acuerdo con AWS A3.0 ^[4] y ASME Sección IX ^[3]	Posición de soldeo de acuerdo con esta norma internacional
 <p>Posición inclinada descendente (tubo fijo)</p>	6G descendente	J-L045
 <p>Posición plana</p>	1F	PA
 <p>Posición plana (tubo rotando)</p>	1FR	PA
 <p>Posición horizontal vertical</p>	2F	PB

Ilustración	Posición de soldeo de acuerdo con AWS A3.0 ^[14] y ASME Sección IX ^[13]	Posición de soldeo de acuerdo con esta norma internacional
 <p>Posición horizontal vertical (tubo rotado)</p>	2FR	PB
 <p>Posición vertical ascendente</p>	3F ascendente	PF
 <p>Posición vertical descendente</p>	3F descendente	PG
 <p>Posición horizontal bajo techo</p>	4F	PD
 <p>Posición vertical ascendente (tubo fijo)</p>	5F ascendente	PH
 <p>Posición vertical descendente (tubo fijo)</p>	5F descendente	PJ

3.3 Preparación de los bordes

Uno de los apartados más importantes que afecta al éxito de la soldadura, es la de un buen diseño de las uniones. Muchos de los problemas de ejecución o calidad de la soldadura normalmente pueden ser causa de un diseño erróneo en la preparación de los bordes. El diseño de las uniones es determinado por los requerimientos de la resistencia, espesores de los materiales, aleaciones, tipos y posiciones, los accesos y el proceso a utilizar de soldadura.

Los bordes en una soldadura es una abertura entre dos piezas a soldar, preparada para facilitar el espacio para contener la soldadura. Estos bordes pueden tener diversas geometrías dependiendo de los espesores de las piezas a soldar, el proceso de soldadura que se quiere utilizar y la aplicación de ésta.

Por todo lo anteriormente mencionado y dada la importancia de la preparación de los bordes antes de la soldadura, la ISO ha creado una serie de normas para su estandarización que indican los procesos a seguir, la UNE-EN ISO 9692-1:2014⁽¹⁹⁾, que anula a la anterior del 2003.

Las preparaciones de unión recomendadas en esta norma son adecuadas a todos los tipos de aceros y para el soldeo realizado de acuerdo con los siguientes procesos:

- Soldero por llama, soldero oxigás.
- Soldero por arco con electrodo revestido.
- Soldero por arco protegido con gas y electrodo de aporte tanto MIG como MAG
- Soldero TIG con material de aporte macizo.
- Soldero por haz de electrones, haz de electrones sin vacío.
- Soldero laser

A continuación, se explicarán los procesos para la preparación de bordes más comunes o más utilizadas en el sector, puesto que la norma define más de 40 procesos, opciones diferentes dependiendo los espesores, posición de la soldadura, ángulo y otras variantes.

Tabla 17. Leyenda de símbolos para la preparación de bordes. Fuente: AENOR ISO 9692

Espesor del Material	Angulo	Separación	Espesor del talón de la raíz	Profundidad de la preparación
t	$\alpha\beta$	b	c	h

La primera opción de la normativa para la preparación de bordes, aunque suene raro es la de “Sin preparación de bordes”. Esta se aplica normalmente en espesores pequeños, inferiores a los 8 mm.

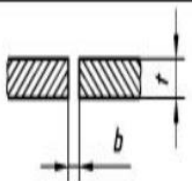

Espesor del material	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 (1))	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldeo recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 (2))	Representación gráfica de la soldadura	Observaciones
				Ángulo ^a	Sepa- ración ^b	Espesor del talón de la raíz	Profun- didad de la preparación			
t mm				$\alpha\beta$	b mm	c mm	h mm			
≤ 8	Sin preparación de bordes			-	$\approx t/2$	-	-	111 141		-
≤ 15				-	$\leq t/2$ 0	-	-	13 52		

Figura 32. No preparación de bordes para espesores < 8mm según ISO9692. Fuente: ISO9692

3.3.1 Preparación de bordes en “V”

Las preparaciones en “V” son de las más utilizadas en soldadura.

La preparación en V simple se puede aplicar en espesores que van de 3 a 40 mm, el ángulo que se realiza es de 60º aunque dependiendo del proceso puede encontrarse entre los 40º y los 60º. Se debe dejar una separación entre las piezas igual o menor a 3 mm y un mínimo talón de 1 o 2 mm.


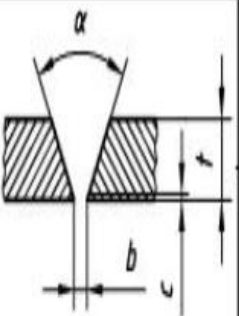
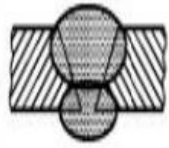
Espesor del material	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 [1])	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldeo recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 [2])	Representación gráfica de la soldadura
				Ángulo ^a	Sepa- ración ^b	Espesor del talón de la raíz	Profun- didad de la preparación		
t mm				α, β	b mm	c mm	h mm		
$3 \leq t \leq 40$	Preparación en V simple			$\alpha \approx 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	≤ 3	≤ 2	-	111 141 13	

Figura 33. Preparación en V simple. Fuente: ISO 9692

La preparación en V simple con talón en la raíz amplio, es lo mismo que la anterior con la pequeña diferencia que el talón que dejamos ha de ser entre 2 mm y 4 mm y que la separación entre las piezas puede ser algo mayor.

También existen las diferentes preparaciones en V doble. La primera que explicare es la de V doble con talón en la raíz amplio. Esta preparación es para espesores mayores a 10 mm, el ángulo utilizado normalmente es de 60° pero según el método de soldadura puede ser de entre 40° y 60° , la separación entre piezas va de 1 a 4 mm y aquí encontramos un concepto nuevo la “ h ” que se podría definir como la longitud de penetración de cada ángulo en el espesor de la pieza, manteniendo un talón (c) de entre 2 y 6 mm de espesor.


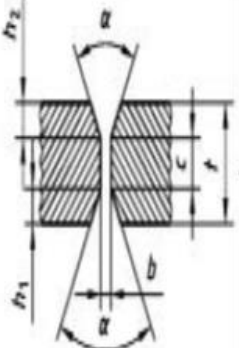
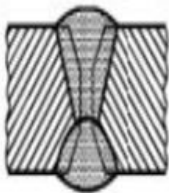
Espesor del material	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 [1])	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldeo recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 [2])	Representación gráfica de la soldadura
				Ángulo ^a	Sepa- ración ^b	Espesor del talón de la raíz	Profun- didad de la preparación		
t mm				$\alpha \beta$	b mm	c mm	h mm		
> 10	Preparación en V doble con talón en la raíz amplio			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 6$	$h_1 = h_2 = \frac{t-c}{2}$	111 141	
				$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$				13	

Figura 34. Preparación en V doble con talón de raíz amplio. Fuente: ISO 9692

Existen otros tipos de preparaciones en V doble, estas sin talón amplio en la raíz, son la preparación en V doble y en V doble asimétrica, ambas muy parecidas y en sus especificaciones. Se aplican para espesores mayores de 10 mm, ángulos normalmente de 60° pero del mismo modo que en las anteriores según qué proceso de soldeo puede variar entre 40° y 60° , se debe mantener una separación entre piezas de 1 mm y 3 mm, el espesor máximo de la raíz debe ser 2 mm. En el caso de ser asimétrica la h será de 3 mm.

Espesor del material	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 (1))	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldeo recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 (2))	Representación gráfica de la soldadura	
				Ángulo ^a	Sepa- ración ^b	Espesor del talón de la raíz	Profun- didad de la preparación			
t mm				$\alpha \ \beta$	b mm	c mm	h mm			
> 10	Preparación en V doble			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	≤ 2	$\approx t/2$	111 141		
				$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$				13		
	Preparación en V doble asimétrica			$\alpha_1 \approx 60^\circ$ $\alpha_2 \approx 60^\circ$			$\approx t/3$	111 141		
				$40^\circ \leq \alpha_1 \leq 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha_2 \leq 60^\circ$				13		

Figura 35. Preparación de bordes en V doble simétrica y asimétrica. Fuente: ISO 9692.

3.3.2 Preparación de bordes en “U”

La preparación de bordes en U es muy utilizada para espesores de mayores dimensiones. Es muy parecida a la preparación en V, la diferencia es visible a simple vista y el perfil como bien definen sus nombres se parecen a la letra U.

Para los bordes en U simple es necesario un espesor mínimo de 12 mm, la separación entre piezas debe ser menor a 3 mm, el talón de raíz debe ser de 5 mm, el ángulo β como veremos en la figura de a continuación puede variar entre 8° y 12° .

Para la preparación de bordes en U doble se debe tener un espesor de la pieza igual o superior a 30 mm, los parámetros de ángulo β y separación son iguales que para la preparación simple. La preparación de bordes tipo doble U también puede ser asimétrica de forma similar a la preparación en V doble asimétrica.

Espesor del material t mm	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 [1])	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldeo recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 [2])	Representación gráfica de la soldadura
				Ángulo ^a α, β	Sepa- ración ^b b mm	Espesor del talón de la raíz c mm	Profun- didad de la preparación h mm		
> 12	Preparación en U simple			$8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	~ 5	-	111 13	
					≤ 3			141 ^c	
≥ 30	Preparación en U doble			$8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$	≤ 3	~ 3	$\approx \frac{t-c}{2}$	111 13 141 ^c	

Figura 36. Preparación de bordes en U simple y doble. Fuente: ISO 9692

3.3.3 Otros tipos de preparación de bordes.

Otro tipo de preparación de bordes bastante utilizada es la que se conoce como la preparación con bisel, que del mismo modo que las anteriores, existe la simple y la doble. Se podría definir como la preparación en V, pero solo de una de las dos piezas a unir.

La preparación de bordes simple se puede aplicar para espesores de entre 3 mm y 30 mm en cambio la doble es para espesores mayores, a partir de 10 mm. En los aspectos siguientes son iguales, el ángulo del bisel ha de ser entre 35° y 60° , la separación entre piezas de entre 1 mm y 4 mm, además el talón de la raíz debe ser igual o inferior a 2 mm.

Espesor del material t mm	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 [1])	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldado recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 [2])	Representación gráfica de la soldadura
				Ángulo ^a $\alpha \beta$	Sepa- ración ^b b mm	Espesor del talón de la raíz c mm	Profun- didad de la preparación h mm		
$3 \leq t \leq 30$	Preparación con bisel simple			$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	≤ 2	-	111 13 141 ^c	
> 10	Preparación con bisel doble			$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	≤ 2	$\approx \frac{t}{2}$	111 13 141	
							$\approx \frac{t}{3}$		

Figura 37. Preparación bisel simple y bisel doble. Fuente: ISO 9692

Otra preparación bastante común en soldadura es la que se conoce como preparación en J, que igual a la anterior esta su versión en simple y en doble. Este tipo de preparación vendría a ser lo mismo que la preparación en U pero solo en una de las piezas. Ambas preparaciones se suelen utilizar para piezas de un espesor considerable.

La preparación en J simple se puede utilizar siempre que el espesor de la pieza sea superior a 16 mm, el ángulo β debe ser igual o superior a 10° y como máximo 20° , ha de haber una separación mínima entre 1 mm y 3 mm y el talón mínimo de raíz debe ser de 2 mm.


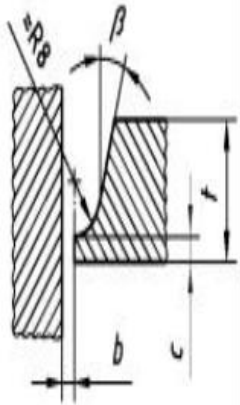
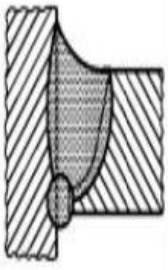
Espesor del material	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 [1])	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldeo recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 [2])	Representación gráfica de la soldadura
				Ángulo ^a	Sepa- ración ^b	Espesor del talón de la raíz	Profun- didad de la preparación		
t mm				α, β	b mm	c mm	h mm		
>16	Preparación en J simple			$10^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	≥ 2	-	111 13 141 ^c	

Figura 38. Preparación de bordes en J simple. Fuente: ISO 9692

La preparación de J doble es para espesores de más de 30 mm, los ángulos deben estar comprendidos entre 10° y 20° , se debe dejar una separación de entre 1mm y 3 mm, y según el espesor que se le quiera dar al talón de la raíz obtendremos la

profundidad de penetración (h). Este tipo de preparación también puede ser asimétrica muy parecida a la preparación en V doble asimétrica.


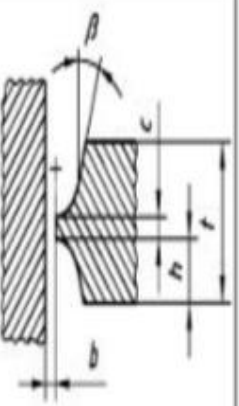
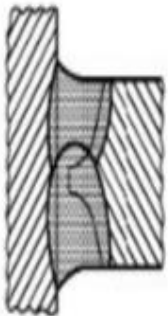
Espesor del material	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 [1])	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldado recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 [2])	Representación gráfica de la soldadura
				Ángulo ^a	Sepa- ración ^b	Espesor del talón de la raíz	Profun- didad de la preparación		
t mm				$\alpha \beta$	b mm	c mm	h mm		
> 30	Preparación en J doble			$10^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$	≤ 3	≥ 2	$\approx \frac{t-c}{2}$	111 13 141 ^c	
						< 2	$\approx t/2$		

Figura 39. Preparación de bordes en J doble. Fuente ISO 9692.

Existen más tipos de preparaciones de bordes, pero estas son las preparaciones de bordes de mayor importancia y más utilizadas en soldadura, es por ello que se ha querido centrar en ellas y así no extenderlo demasiado entrando en otras de características y uso poco habituales, para ver estas que serán las utilizadas.

Capítulo 4. Parte Práctica: Pruebas de soldadura.

4.1 Introducción de la parte práctica.

En la parte práctica se realizarán una serie de soldaduras con diferentes procesos de soldadura, los más extendidos y conocidos (TIG, MIG/MAG, Electrodo revestido). Las pruebas consisten en la unión de dos probetas, tanto de acero como de acero inoxidable, estas probetas tienen unas dimensiones de 100x40x5 mm las de acero y 100x40x5 mm las probetas de acero inoxidable.

La posición de soldeo en la que se realizaran las soldaduras será *Posición plana* designada según la ISO 6947 como (PA) y según la AWS como 1G. En todas las pruebas se realizarán dos puntos de soldadura antes de empezar con el cordón.

Tabla 18. Designación por colores y metales a soldar según el proceso. Fuente: Propia.

1. TIG	2. MIG- MAG	3. Electrodo Revestido
-	Acero	Acero
Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Acero inoxidable – Acero al carbono	Acero inoxidable – Acero al carbono	Acero inoxidable – Acero al carbono

No se realizará preparación de bordes, puesto que para realizar la unión por ambas caras con un espesor inferior o igual a 8 mm no es necesario prepararlos como indica la norma ISO 9692.

En cada prueba se medirán unos parámetros como: el tiempo invertido en realizar la unión de las dos probetas, el material aportado, la intensidad y voltaje, así como la complejidad al realizar la soldadura y el acabado final. Todos estos parámetros serán explicados detalladamente más adelante. También se calcularán todos los gastos que pueda suponer la soldadura como: el de material,

personal o eléctrico. Para finalmente realizar un análisis comparativo entre los diferentes procesos de soldadura según los metales a soldar.

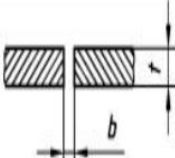

Espesor del material t mm	Tipo de preparación	Símbolo (según la Norma ISO 2553 [1])	Sección transversal	Medidas				Proceso de soldado recomendado (número de referencia según la Norma ISO 4063 [2])	Representación gráfica de la soldadura	Observaciones
				Ángulo ^a	Sepa- ración ^b	Espesor del talón de la raíz	Profun- didad de la preparación			
α β					b mm	c mm	h mm			
≤ 8	Sin preparación de bordes			-	$\approx t/2$	-	-	111 141		-
				-	$\leq t/2$	-	-	13		
≤ 15				-	0	-	-	52		

Figura 40. No preparación de bordes para espesores < 8mm según ISO9692. Fuente: ISO9692

4.2 Descripción elementos empleados.

4.2.1 Materiales

Como se ha explicado anteriormente se realizarán distintas pruebas, en unas se realizará la soldadura en piezas de acero al carbono, en otras con acero inoxidable y en otras mixtas uniendo una pieza de cada tipo.

Para las pruebas realizadas con acero, estas piezas serán de acero al carbono, anteriormente también conocidos como “aceros F1” o “aceros negros”, estos son aceros no aleados con una composición de 0,21% C y 1,5% Mn.

En las pruebas donde se emplee acero inoxidable este será un acero inoxidable austenítico AISI 304, es el acero inoxidable más común y tiene una composición de 18% Cr y 8% Ni



Figura 41. Probetas de Acero al carbono e Inoxidables en diferentes posiciones para las pruebas. Fuente: Propia

4.2.2 Maquinaria

Las máquinas de soldadura empleadas para realizar las pruebas son las siguientes:



Figura 42. Maquinas empleadas en las pruebas. Fuente: sincosald.it y ims-welding.com

-TIG:

Marca: Sincosald Modelo: NOVATIG 252 DC PULSE.

Es un generador de corriente continua. Suministro de trifásica 400 V - 50/60 Hz. Corriente de soldadura máxima que alcanza es de 250 A en un factor de marcha del 60% y una tensión en vacío de 67 V.

Dimensiones: 480 mm longitud 190 mm Ancho 360 mm Alto. Peso 11 Kg.

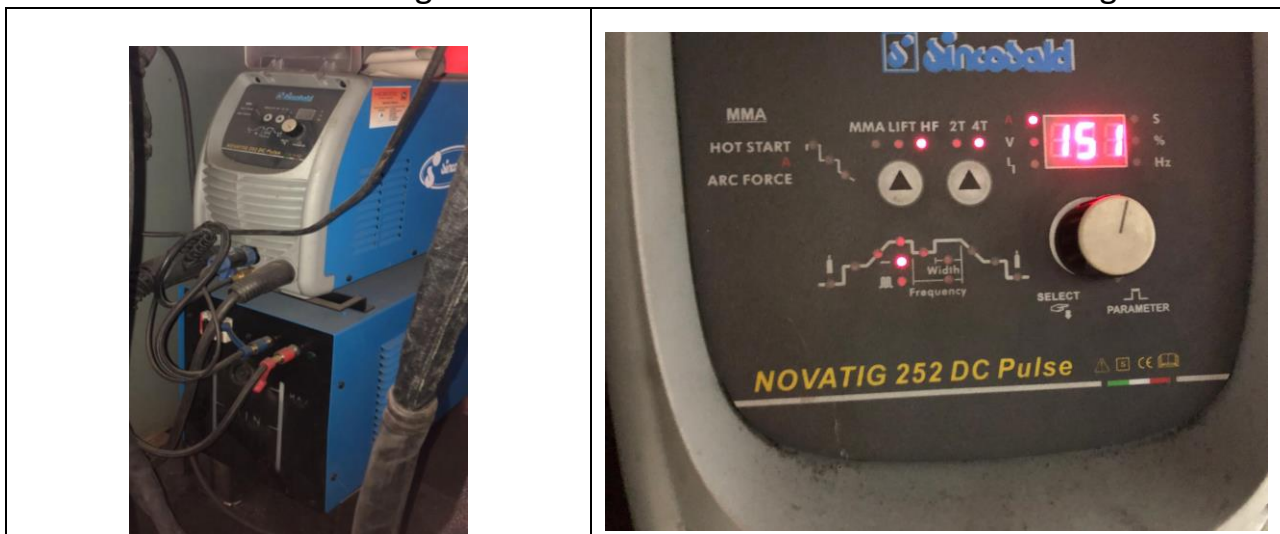


Figura 43. Máquina de soldadura TIG empleada para las pruebas. Panel de control. Fuente: Propia.

-MIG/MAG:

Marca: Sincosald Modelo: NOVASTAR 400E speedpuls.

Es un generador de corriente continua. Suministro de trifásica 400 V - 50/60 Hz.
Corriente de soldadura 400 A - 50%

Dimensiones: 670 mm longitud 270 mm Ancho 415 mm Alto. Peso 43 kg.

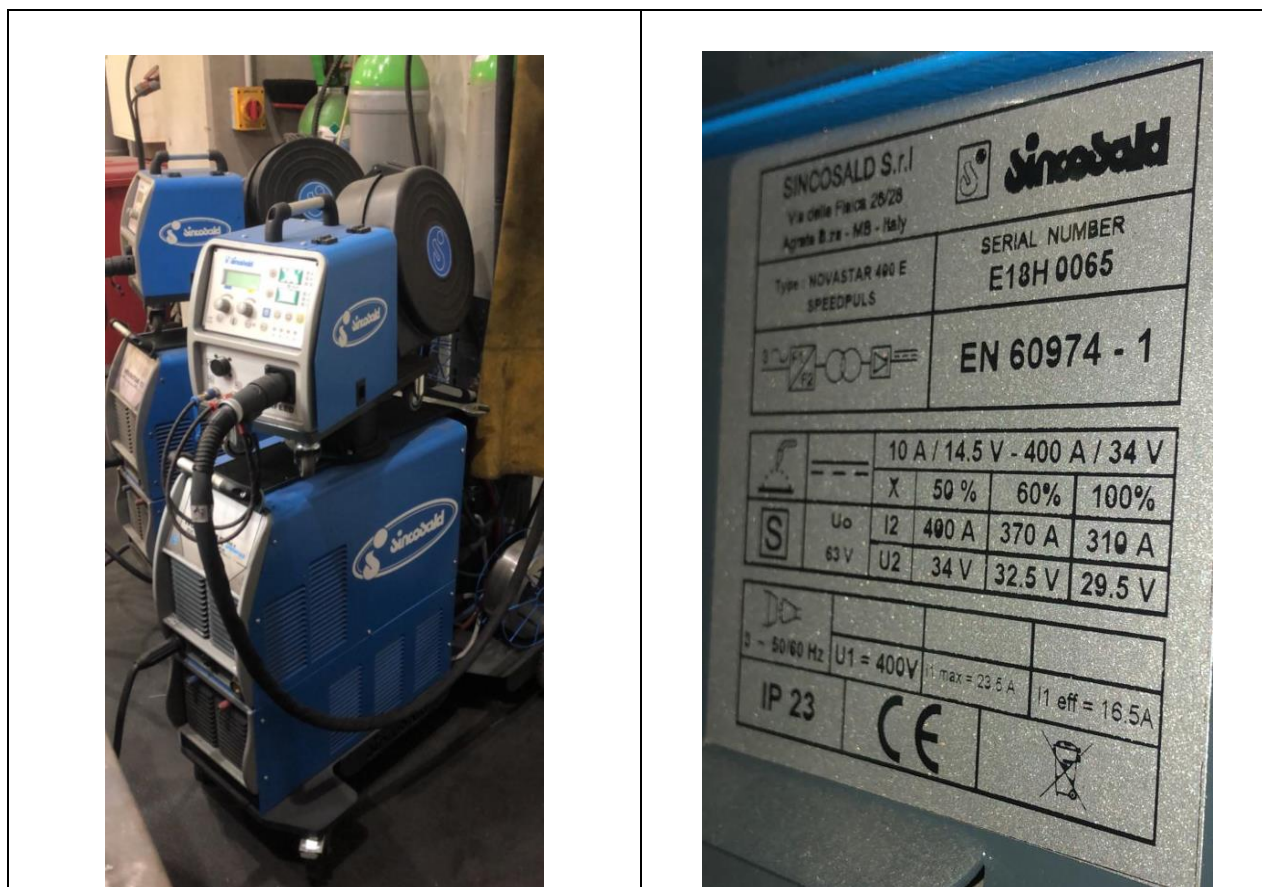


Figura 44. Máquina soldadura MAG empleada en las pruebas y placa de características. Fuente: Propia.

En la placa de características podemos ver el símbolo que indica que la máquina funciona conectada a corriente trifásica con un transformador rectificador de la corriente alterna de entrada a corriente continua con la que trabajaremos. También indica que la intensidad máxima será de 400 A y se alcanza con un factor de marcha del 50%, una tensión en vacío de 63 V

-Electrodo revestido:

Marca: IMS PRO. Modelo: inverter 200P

Es un generador de corriente continua. Suministro de monofásica 400 V 50/60 Hz. La intensidad máxima de soldadura con la que puede trabajar es de 200 A en un factor de marcha del 16%.

Dimensiones: 380 mm longitud 180 mm Ancho 220 mm Alto Peso: 5.1 kg



Figura 45. Máquina electrodo revestido. Fuente: Propia.

200P		N° : located on the back		
		IEC 60974-1, IEC 60974-10 Class A		
		10A / 20,4v - 200A / 28v		
	$U_0=83v$	$X(40^{\circ}C)$	16%	60%
		I_2	200A	120A
		U_2	28v	24,8v
			85A	23,4v
	50-60 HZ	$U_1=230v$	$I_{1max}=40A$	$I_{1eff}=16A$
IP21				

Figura 46. Placa de características de la máquina. Fuente: Propia.

En la placa de características se puede ver que es un transformador rectificador a CC y lo dicho anteriormente, el amperaje máximo según el orden de marcha, una tensión en vacío máxima de 83 V, es resistente a sobre tensiones de hasta 400 V. Esta máquina puede soldar hasta espesores de 10 mm y puede trabajar con un rango de electrodos revestidos de 1,6 mm de diámetro hasta 5 mm.

4.2.3 Gases y electrodos revestidos.

Los gases que se emplearan para realizar la soldadura en las pruebas de TIG y MIG/MAG son Argón puro y Argón mezclado con CO₂. Hay que tener en cuenta que si el gas inerte Argón se mezcla con CO₂ ya se estará soldado en MAG, aunque el porcentaje de CO₂ sea mucho menor que el de Argón.

-TIG: Argón 100%

-Para soldar acero en MAG gas: Enermix M21A (92%Ar – 8%CO₂)

-Para soldar acero inoxidable en MAG gas: Enermix M12A (98%Ar – 2%CO₂)

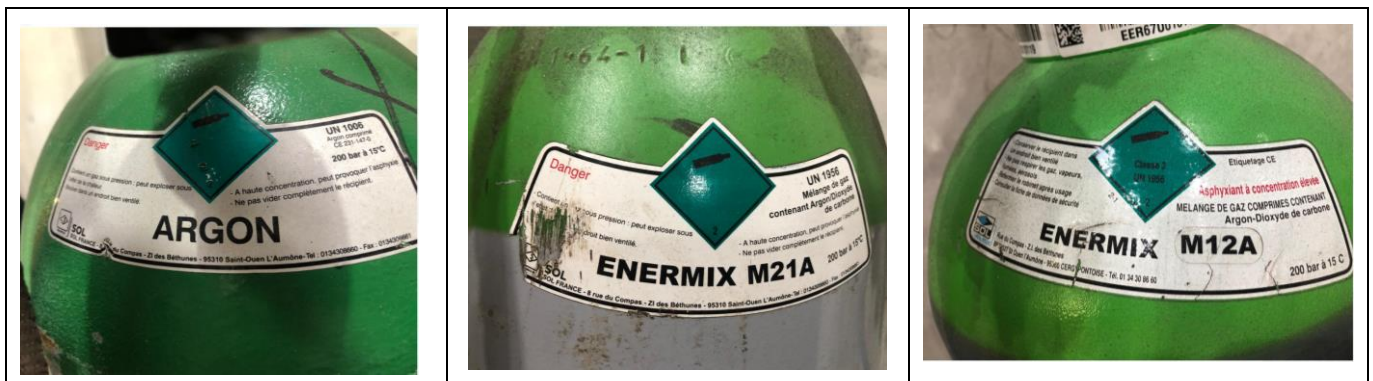


Figura 47. Gases empleados para las pruebas realizadas en TIG y MIG/MAG. Fuente: Propia

En cuanto a las pruebas realizadas mediante la máquina de electrodo revestido, estos serán los electrodos a utilizar.

-E6013 Ø 2,5 y 3,2 mm: Son los más comunes en las soldaduras para aceros al carbono, tiene una baja penetración por ello es muy empleado en planchas de espesores inferiores a 6,5mm. Producen bastante escoria y una buena tasa de deposición, su arco es estable siendo válido para todas las posiciones.

Con una composición de (0,11%C-0,47%Mn-0,24%Si) y (% > 0,05 P y S)

-E316L-16 Ø2,5mm: Rutilo-Básico. Empleado para las uniones de aceros inoxidables de mayor calidad posible. Electrodos fáciles de soldar, fácil encendido, valido para todas las posiciones, no proyecciones.

Composición de (0.8%C-0.6%Mn-19%Si-12%Cr-2,5%Ni)

-E309L-16 Ø2,5mm: Rutilo-Básico. Para aceros de alta resistencia a la corrosión y oxidación. Su aplicación más frecuente es para aceros inoxidables tipo 304 y para unir aceros inoxidables con aceros al carbono. Se caracterizan por encenderse con facilidad, arco estable, fácil aplicación, pocas proyecciones, escoria fácil de retirar.

Composició: (0,8%C-0,6%Mn-23,5%Si-13%Cr)

-E7024 Ø3,2m: Rutilo. Electrodo de alto rendimiento para estructuras de acero, valido para trabajar en diferentes posiciones como en ángulo, vertical y plano. El revestimiento contiene polvo de hierro y de titanio lo que garantiza una gran tasa de deposición de un 150%.

Con una composició de (0,12%C-1,25%Mn-0,9%Si) y (% > 0,05 P y S)

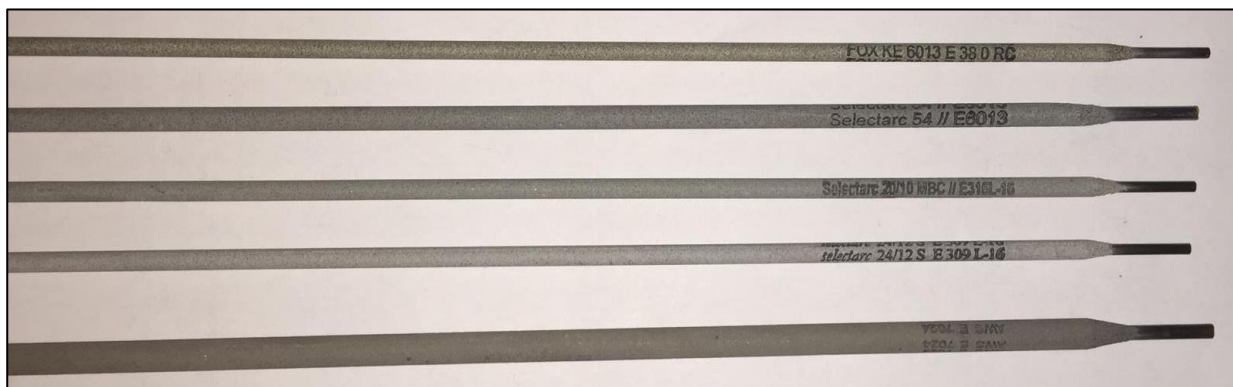


Figura 48. Diferentes tipos de electrodos que se utilizaran en las pruebas. Fuente: Propia

4.3 Pruebas Soldadura.

Para la realización de las pruebas se tendrán en cuenta una serie de parámetros, unos antes de empezar la soldadura y otros después. Esto nos permitirá obtener una valiosa información a la hora de analizar y comparar los diferentes procesos.

No en todas las pruebas se tendrá en cuenta los mismos parámetros, hay unos parámetros comunes en todas ellas existiendo otros parámetros exclusivos para cada proceso.

Parámetros comunes antes de empezar la soldadura:

- Metal a soldar: Es el metal del que están hechas las probetas que se van a soldar, puede ser acero al carbono o acero inoxidable.
- Dimensión de las probetas: Todas tienen en el mismo largo 100 mm y ancho 50 mm, pero el espesor es diferente en las de acero 5mm y en las de inoxidable 4 mm.
- Intensidad: La intensidad en amperios que se empleara en la soldadura.
- Voltaje: El voltaje en voltios que se empleara en la soldadura.

Parámetros comunes después de realizar la soldadura:

- Tiempo: El tiempo empleado en segundos en realizar la soldadura, donde **T1** es el tiempo en realizar la primera cara de la soldadura y **Tt** es el tiempo total empleado en realizar la unión completa por ambas caras.
- Material aportado: Dependerá del proceso, ya que en cada uno es un aporte diferente.
- Consumo eléctrico: En Kw. Este dependerá de los amperios y el voltaje empleados para realizar la soldadura, ya que es intensidad por voltaje.
- Gasto en soldar 10 metros: Este cálculo se hace en base al tiempo empleado, el material aportado y el consumo eléctrico. Se explicará con detenimiento y se mostraran las hojas de Excel con los cálculos.

Además de estos parámetros cuantitativos, también se analizarán unos aspectos comunes una vez realizada la soldadura que son:

- Cebado del arco: Facilidad o dificultad para el encendido inicial del arco eléctrico.

-
- Facilidad de la soldadura: Una vez iniciado el arco, dificultad de mantenerlo y realizar el cordón.
 - Calidad del cordón: Tanto visualmente, homogéneo, no muy ancho ni muy abultado, así como la calidad de la unión.
 - Penetración: Si se ha conseguido una penetración completa en el cordón.
 - Proyecciones: Numero de pequeñas partículas metálicas, expulsadas de la zona de soldadura, que quedan esparcidas alrededor del cordón.

Parámetros específicos de las pruebas de soldadura TIG:

- Símbolo del proceso TIG según la normativa ISO 60974-1
- Gas: Que al ser soldadura TIG siempre será 100% Argón.
- \varnothing elect de W: Significa diámetro del electrodo de Volframio.
- Varilla de aportación: De la cual también está indicado en la tabla el diámetro, la longitud y la composición.

Parámetros específicos de las pruebas de soldadura MAG:

- Símbolo del proceso MAG según la normativa ISO 90674-1
- Gas: Este varía en función si se está soldando solo acero al carbono que se emplea el gas M21A con mayor % de CO₂. Para las pruebas donde haya acero inoxidable, se empleará el gas M12A con menor % de CO₂ y más Argón.
- Electrodo (Alambre): En el que se indica el diámetro y la composición del metal del alambre.

Parámetros específicos de las pruebas de soldadura electrodo revestido:

- Símbolo del proceso SMAW según la normativa ISO 90674-1
- Polaridad: Con la que se mueven los electrones en CC, directa o inversa.
- Electrodo revestido: Indica el diámetro y tipo de revestimiento de estos.

En la siguiente figura se muestra en forma de esquema, lo explicado anteriormente sobre los parámetros analizados en las pruebas. De este modo se puede ver de una forma más resumida y directa.

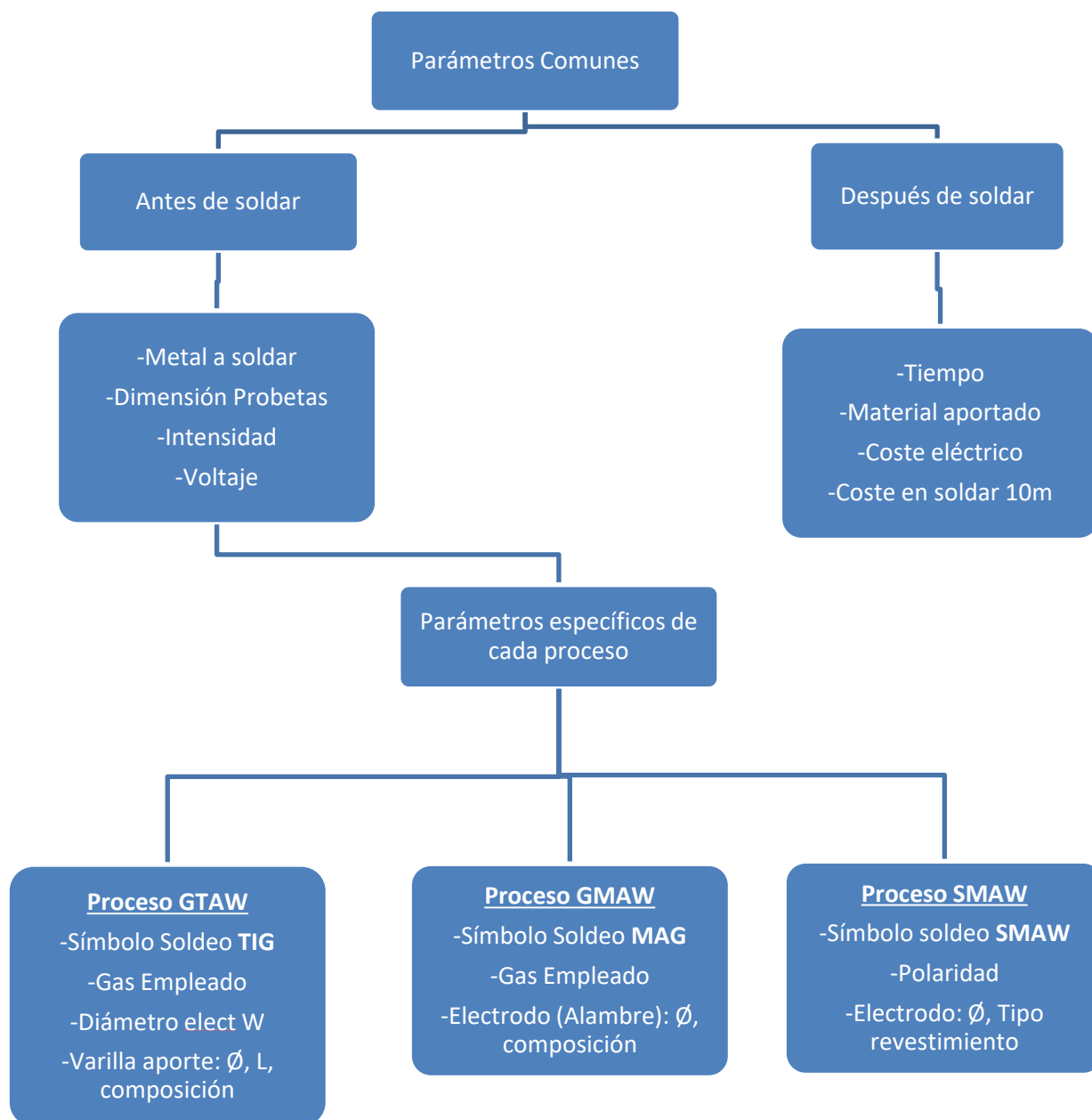


Figura 49. Parámetros de soldadura analizados en las pruebas. Fuente: Propia.

4.3.1 Prueba1: Soldadura TIG, unión Acero Inoxidable.

Tabla 19. Parámetros prueba 1. Fuente: Propia.


Prueba 1	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Gas	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Ø elect de W	Varilla aportación		
								Ø	L	Material
	TIG	INOX AISI 304	100x50x4 100x50x4	Ar	100	20,5	2,4	1,6	1000	INOX AISI 316L
TIEMPO (s):		Material aportado:		Consumo eléctrico (kW)			GASTO SOLDAR 10M			
T1= 40 Tt= 85		0,5 varillas		100·20,5= 2050w =2,05Kw			58,34€			



Figura 50. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 1. Fuente: Propia.

Tabla 20. Análisis del proceso después de realizar la prueba 1. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Muy fácil
Facilidad de la Soldadura	Media
Calidad del cordón	Muy Alta
Penetración	Alta
Proyecciones	Ninguna

-Observaciones: Fácil cebado de arco y aspecto muy bueno, consiguiendo un cordón a casi mismo nivel que las piezas

4.3.2 Prueba 2: Soldadura TIG, unión Acero al carbono e Inox.

Tabla 21. Parámetros prueba 2. Fuente: Propia.


Prueba 2	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Gas	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Ø elect de W	Varilla aportación		
								Ø	L	Material
	TIG 	ACERO Y INOX AISI 304	100x50x5 100x50x4	Ar	115	21,3	2,4	1,6	1000	INOX AISI 309L
TIEMPO (s):		Material aportado:		Consumo eléctrico (kW)			GASTO SOLDAR 10M			
T1= 38 Tt=75		0,5 varillas		$115 \cdot 21,3 = 2450w = 2,45Kw$			53,58€			



Figura 51. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 2. Fuente: Propia.

Tabla 22. Análisis del proceso después de realizar la prueba 2. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Muy fácil
Facilidad de la Soldadura	Media
Calidad del cordón	Muy Alta
Penetración	Alta
Proyecciones	Ninguna

-Observaciones: Cebat el arco es igual de fácil que en la prueba anterior, pero en este caso aumenta un poco la dificultad a la realizar el cordón.

4.3.3 Prueba 3: Soldadura MAG, unión Acero al carbono.

Tabla 23. Parámetros prueba 3. Fuente Propia.


Prueba 3	Proceso	Metal a soldar	Dimensiones probetas (mm)	Gas	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo (Alambre)	
							Ø	Material
	MAG 	ACERO	100x50x5 100x50x5	92%Ar 8%CO2	160	19,4	1,2	Acero
TIEMPO (s):		Velocidad hilo (m/min)		Consumo eléctrico (kW)		GASTO SOLDAR 10M		
T1= 10 Tt=18		5,4		160·19,4= 3104w = 3,1Kw		14,18€		



Figura 52. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 3. Fuente: Propia.

Tabla 24. Análisis del proceso después de realizar la prueba 3. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Muy fácil
Facilidad de la Soldadura	Fácil
Calidad del cordón	Alta
Penetración	Alta
Proyecciones	Muy pocas

-Observaciones: Igual que en las pruebas anteriores soldar el arco es extremadamente fácil, es más difícil mantener la distancia constante.

4.3.4 Prueba 4: Soldadura MAG, unión Acero Inoxidable.

Tabla 25. Parámetros prueba 4. Fuente: Propia.


Prueba 4	Proceso	Metal a soldar	Dimensiones probetas (mm)	Gas	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo (Alambre)	
							Ø	Material
	MAG 	INOX AISI 304	100x50x4 100x50x4	98%Ar 2%CO2	130	18,6	1,2	INOX AISI 316L
TIEMPO (s):		Velocidad hilo (m/min)		Consumo eléctrico (kW)		GASTO SOLDAR 10M		
T1=11 Tt= 22		4.5		130·18,6= 2418w = 2,42Kw		35,76€		



Figura 53. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 4. Fuente: Propia.

Tabla 26. Análisis del proceso después de realizar la prueba 4. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Muy fácil
Facilidad de la Soldadura	Fácil
Calidad del cordón	Alta
Penetración	Alta
Proyecciones	Ninguna

-Observaciones: Soldadura realmente fácil de realizar.

4.3.5 Prueba 5: Soldadura MAG, unión Acero al carbono e Inox.

Tabla 27. Parámetros prueba 5. Fuente: Propia.


Prueba 5	Proceso	Metal a soldar	Dimensiones probetas (mm)	Gas	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo (Alambre)	
							Ø	Material
	MAG 	ACERO Y INOX AISI 304	100x50x5 100x50x4	98%Ar 2%CO2	125 140	19,5	1,2	INOX AISI 309L
TIEMPO (s):		Velocidad hilo (m/min):		Consumo eléctrico (kW)		GASTO SOLDAR 10M		
T1=11 Tt= 22		4,8		140·19,5= 2730w = 2,73Kw		38,84€		



Figura 54. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 5. Fuente: Propia.


Tabla 28. Análisis del proceso después de realizar la prueba 5. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Medio-fácil
Facilidad de la Soldadura	Media-fácil
Calidad del cordón	Alta
Penetración	Alta
Proyecciones	Muy pocas

-Observaciones: La primera cara se realizó con una intensidad demasiado baja 125A, luego para la 2ª ya se corrigió y se utilizó la intensidad adecuada 140 A. La diferencia es que costo más cebar el arco y el cordón quedo más estrecho.

4.3.6 Prueba 6: Soldadura SMAW, unión Acero electrodo Ø 2,5

Tabla 29. Parámetros prueba 6. Fuente: Propia.

Prueba 6	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Polaridad (CC)	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo revestido	
							Ø	Tipo
	SMAW 	ACERO	100x50x5 100x50x5	Directa	80	22	2,5	Rutilo E6013
TIEMPO (s):		Material aportado:		Consumo eléctrico (kW)		GASTO SOLDAR 10M		
T1=55 Tt= 98		1,5 electrodos		80·22= 1760w =1,76Kw		42,84€		

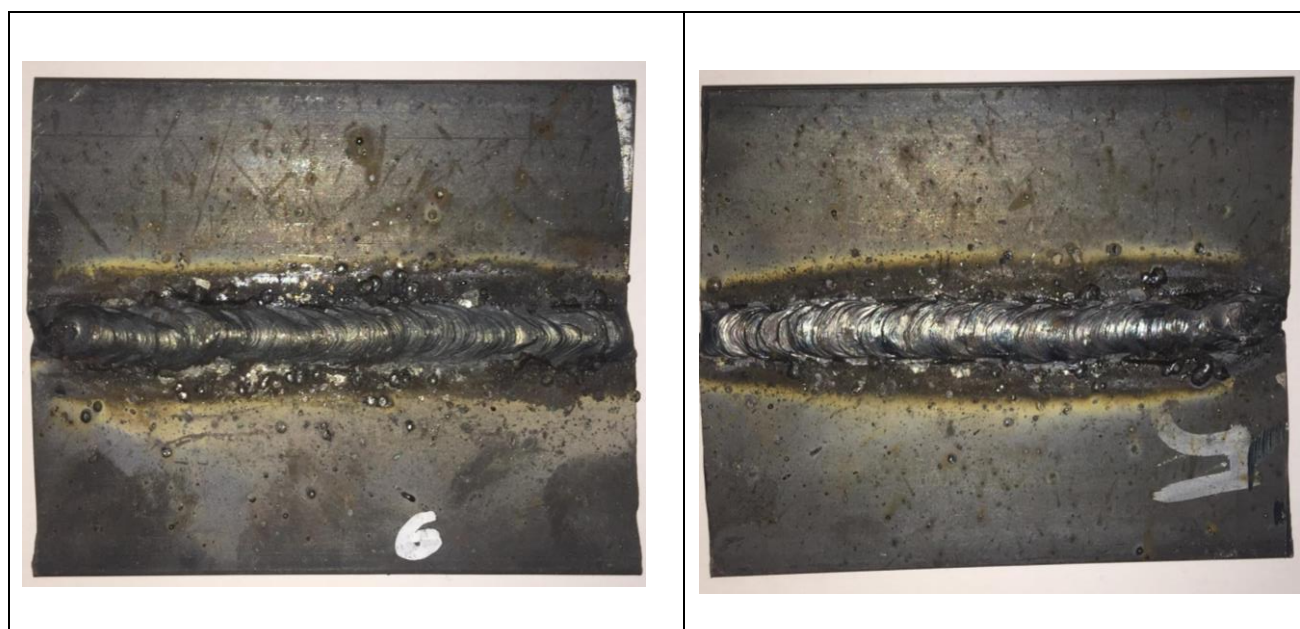


Figura 55. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 6. Fuente: Propia.


Tabla 30. Análisis del proceso después de realizar la prueba 6. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Medio
Facilidad de la Soldadura	Media
Calidad del cordón	Media
Penetración	Alta
Proyecciones	Muchas

-Observaciones: Al llegar a los puntos de soldadura mantener el arco se complica y el cordón se ve afectado. La segunda cara se realizó más rápido, con menos proyecciones y mejor aspecto final.

4.3.7 Prueba 7: Soldadura SMAW, unión Acero electrodo Ø 3,2

Tabla 31. Parámetros prueba 7. Fuente: Propia.

Prueba 7	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Polaridad (CC)	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo revestido	
							Ø	Tipo
	<div>SMAW</div> <div></div>	ACERO	100x50x5 100x50x5	Directa	115 100	24,1	3,2	Rutilo E6013
TIEMPO (s):		Material aportado:		Consumo eléctrico (kW)			GASTO SOLDAR 10M	
T1=36 Tt= 71		1 electrodo		100·24,1= 2410w = 2,41Kw			34,85€	

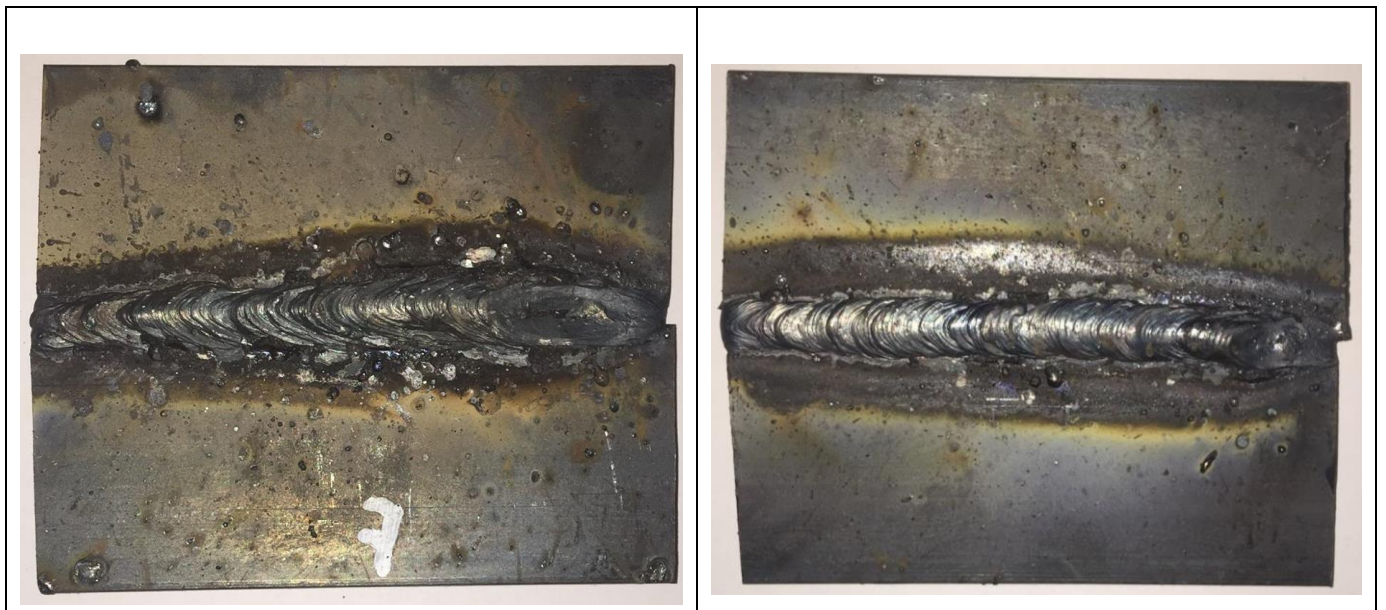


Figura 56. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 7. Fuente: Propia.


Tabla 32. Análisis del proceso después de realizar la prueba 7. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Difícil / Medio
Facilidad de la Soldadura	Difícil / Media
Calidad del cordón	Baja / Media
Penetración	Muy Alta
Proyecciones	Muchas / Pocas

-Observaciones: La primera cara se realizó con una intensidad demasiado alta 115 A, por eso el aspecto es peor, hay muchas proyecciones, el final del cordón se puede apreciar una hendidura provocada por el exceso de calor.

4.3.8 Prueba 8: Soldadura SMAW, unión Acero electrodo Ø 3,2 Inv

Tabla 33. Parámetros prueba 8. Fuente: Propia.

Prueba 8	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Polaridad (CC)	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo revestido	
							Ø	Tipo
	SMAW 	ACERO	100x50x5 100x50x5	Inversa	100	24,1	3,2	Rutilo E6013
TIEMPO (s):		Material aportado:		Consumo eléctrico (kW)		GASTO SOLDAR 10M		
T1=40 Tt= 70		0,8 electrodos		100·24,1= 2410w = 2,41Kw		32,50€		

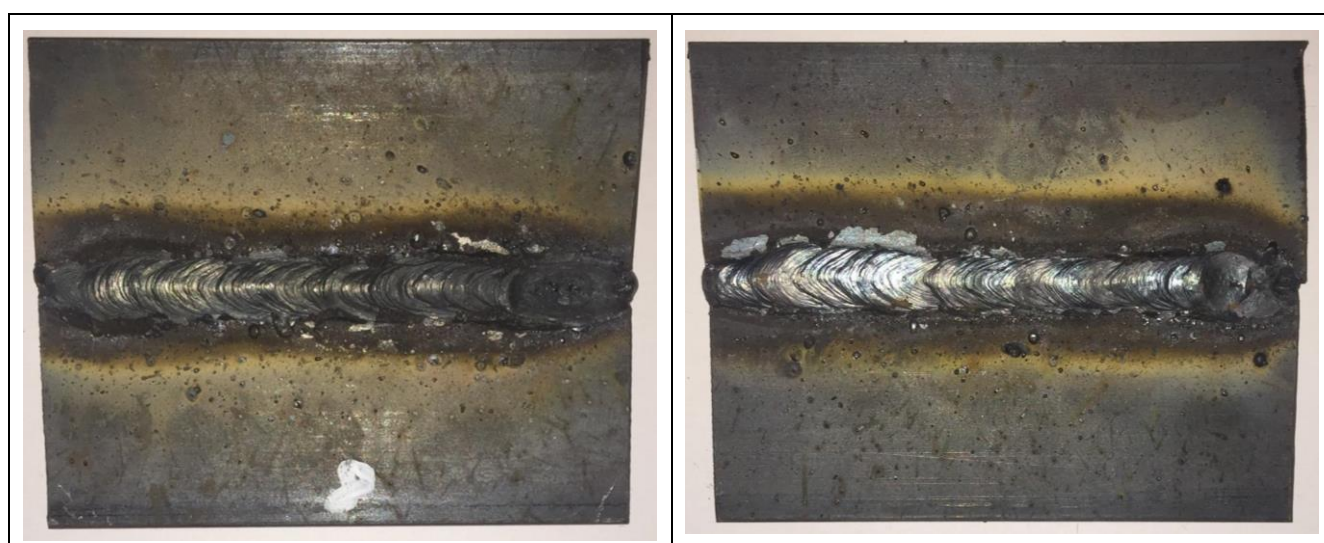


Figura 57. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 8. Fuente: Propia.


Tabla 34. Análisis del proceso después de realizar la prueba 8. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Difícil
Facilidad de la Soldadura	Media
Calidad del cordón	Media-Baja
Penetración	Alta
Proyecciones	Muchas

-Observaciones: Se originan bastantes proyecciones, aunque más pequeñas. Se puede apreciar que al final de los cordones de cada cara se producen hendiduras debido al exceso de calor.

4.3.9 Prueba 9: Soldadura SMAW, unión Acero Inoxidable.

Tabla 35. Parámetros prueba 9. Fuente: Propia.

Prueba 9	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Polaridad (CC)	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo revestido	
							Ø	Tipo
	SMAW 	INOX AISI 304	100x50x4 100x50x4	Directa	70	19,27	2,5	Rutilo-básico 316L
TIEMPO (s):		Material aportado:	Consumo eléctrico (kW)			GASTO SOLDAR 10M		
T1=34 Tt= 75		1,75 electrodos	70·19,27= 1349w = 1,35Kw			107,95€		

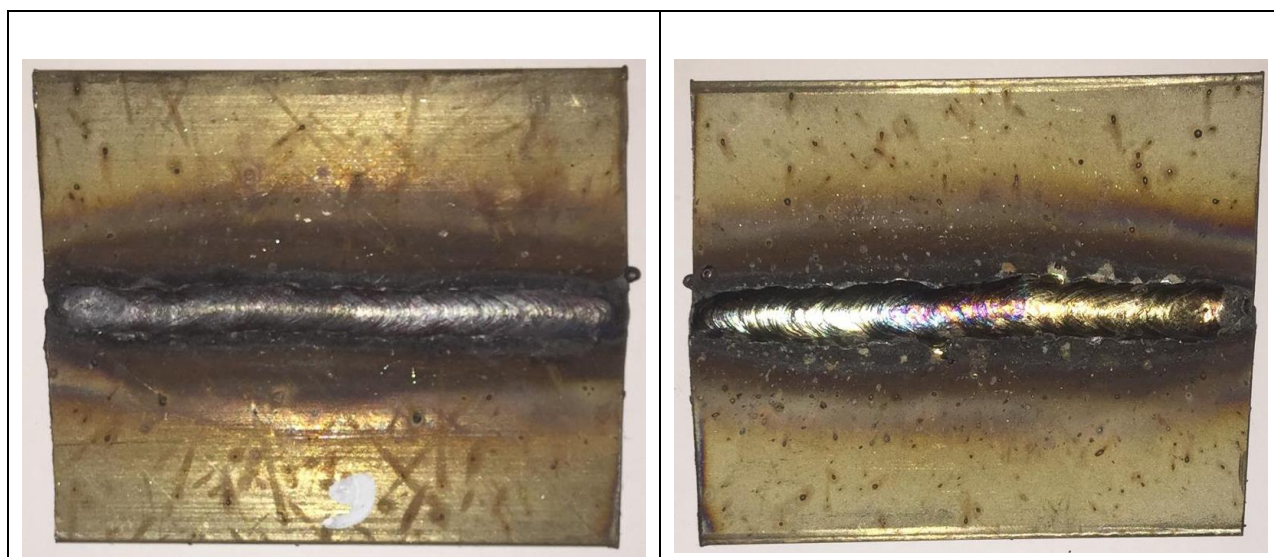


Figura 58. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 9. Fuente: Propia.


Tabla 36. Análisis del proceso después de realizar la prueba 9. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Fácil
Facilidad de la Soldadura	Fácil
Calidad del cordón	Alta
Penetración	Muy Alta
Proyecciones	Pocas

-Observaciones: Al realizar la segunda cara, el primer cordón vuelve a recalentarse y pierde ese brillo tan característico, además el cordón en la segunda cara es más fácil de realizar y sale más ancho debido a que la pieza ya está caliente.

4.3.10 Prueba 10: Soldadura SMAW, unión Acero al carbono e Inox.

Tabla 37. Parámetros prueba 10. Fuente: Propia.

Prueba 10	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Polaridad (CC)	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo revestido	
							Ø	Tipo
	SMAW 	ACERO Y INOX AISI 304	100x50x5 100x50x4	Directa	80	22	2,5	Rutilo-Básico 309L-16
TIEMPO (s):		Material aportado:		Consumo eléctrico (kW)		GASTO SOLDAR 10M		
T1=35 Tt= 72		2 electrodos		80·22= 1760w = 1,76Kw		156,88€		

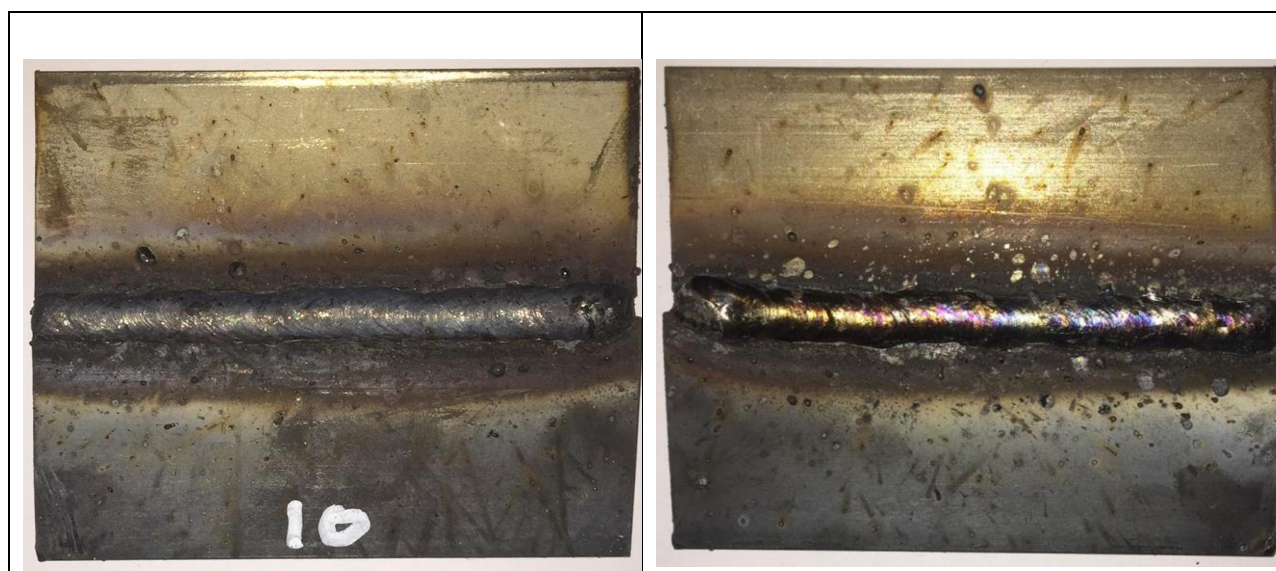


Figura 59. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 10. Fuente: Propia.

Tabla 38. Análisis del proceso después de realizar la prueba 10. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Fácil
Facilidad de la Soldadura	Fácil
Calidad del cordón	Alta
Penetración	Alta
Proyecciones	Pocas

-Observaciones: Al realizar la segunda cara, el primer cordón vuelve a recalentarse y pierde ese brillo tan característico, además el cordón en la segunda cara es más fácil de realizar debido a que la pieza ya está caliente.

4.3.11 Prueba 11: Soldadura SMAW, unión Acero alto rendimiento.

Tabla 39. Parámetros prueba 11. Fuente: Propia.


Prueba 11	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Polaridad (CC)	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo revestido	
							Ø	Tipo
	SMAW 	ACERO	100x50x5 100x50x5	Directa	120	24,8	3,2	Rutilo 7024 Alto rendimiento
TIEMPO (s):		Material aportado:		Consumo eléctrico (kW)		GASTO SOLDAR 10M		
T1=19 Tt= 40		0,5 electrodos		120·24.8= 2976w = 2,97Kw		44,64€		



Figura 60. 1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 11. Fuente: Propia.

Tabla 40. Análisis del proceso después de realizar la prueba 11. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Fácil
Facilidad de la Soldadura	Media
Calidad del cordón	Media-Baja
Penetración	Muy Alta
Proyecciones	Muy pocas

-Observaciones: Este electrodo tiene una facilidad de cebado del arco alta, un aporte y una penetración sorprendentemente altos. En la 1ª cara el cordón es más estrecho y uniforme que en la 2ª cara.

4.3.12 Prueba 12: Soldadura SMAW, unión Acero por no profesional

Tabla 41. Parámetros prueba 12. Fuente: Propia.


Prueba 12	Proceso	Metal a soldar	Dimensión probetas (mm)	Polaridad (CC)	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Electrodo revestido	
							Ø	Tipo
	<div>SMAW</div> <div></div>	ACERO	100x50x5 100x50x5	Directa	80	22	2,5	Rutilo E6013
TIEMPO (s):		Material aportado:		Consumo eléctrico (kW)			GASTO SOLDAR 10M	
T1=48 Tt= 91		1,5 electrodos		80·22= 1760w =1,76Kw			40,47€	



Figura 61.1ª y 2ª cara de la probeta después de la prueba 12. Fuente: Propia.

Tabla 42. Análisis del proceso después de realizar la prueba 12. Fuente: Propia.

Cebado del arco	Muy Difícil
Facilidad de la Soldadura	Difícil
Calidad del cordón	Muy Baja
Penetración	Baja
Proyecciones	Muchas

-Observaciones: En ambas caras salieron cordones muy finos y con muy poca penetración además de muchas proyecciones y se tuvieron muchos problemas para cebar el arco. También las piezas no se han unido totalmente planas se ha generado una deformación angular en la unión de unos 15° - 20°

4.4 Observaciones generales de las pruebas.

Una vez realizadas todas las pruebas con los diferentes procesos, se han observado los siguientes aspectos:

1. Por norma general en **la segunda cara, la soldadura se realiza más rápido.** (Debido a que hay un precalentamiento producido al soldar la 1ª cara)
2. **La dirección es claramente visible en el cordón**, es la contraria de las flechas, de este modo ((((((((. Muy claramente visible en los procesos de electrodo y TIG.
3. Tanto en la **soldadura TIG** como **MAG cebar el arco es muy sencillo**, pero mantenerlo a la misma distancia durante la soldadura tiene mayor dificultad.
4. **La 1ª cara de la prueba 5** se realizó a 125 A, una **intensidad demasiado baja** lo que **dificultó el cebado del arco** y comparada con la 2ª cara realizada a 140 A se ve un cordón más delgado y de peor calidad.
5. En los cordones de Inoxidable, una vez **realizada la primera cara, al soldar la segunda, el cordón se oscurece y pierde** ese **color y brillo** tan característico del inoxidable debido a que se ha vuelto a calentar.
6. Se puede apreciar que la **soldadura TIG** es la que realiza los **cordones de mayor calidad**, ya sea por penetración como visualmente, además el cordón de soldadura no sobresale casi nada y se mantiene al mismo nivel. Los cordones realizados con MAG y electrodo son muy abultados.
7. En la **prueba 7 la primera cara se realiza** a 115 A y al compararla con la 2ª cara se puede ver que al realizarse con una **intensidad más alta** de la adecuada se **generan muchas proyecciones y se pierde uniformidad en el cordón**, además al final en el cordón se aprecia un sobrecalentamiento de la pieza.
8. **Los cordones realizados con el electrodo, hilo y varilla de 309L necesitan ser enfriados progresivamente**, en caso de enfriarse rápidamente se producirían grietas en el cordón llegando a romper la soldadura.
9. **No realizar bien los puntos de soldadura o generar un sobrecalentamiento** por un lado de la pieza, **puede generar que las piezas no estén alineadas** al finalizar la unión. Esto es claramente visible en la prueba 12.

En la tabla 43, se muestra una comparativa de las características más significativas de los procesos estudiados y sometidos a pruebas, de este modo se concentra toda la información obtenida durante la parte teórica y contrastada en la práctica.

Tabla 43. Comparativa de características según el proceso. Fuente: Propia

	TIG	MIG/MAG	ELECTRODO
Tipo de corriente	CC/CA	CC	CC/CA
Rango espesores	0.5-10mm	0.5-15mm	2-38mm
Equipo	Caro y complejo	Caro y complejo	Barato y sencillo
Productividad	Baja	Alta	Media-Baja
Desplazamiento	Solo en talleres	Solo en talleres	Interiores y exteriores
Metales a Soldar	Todos los comerciales	Todos los comerciales	No Titanio Difícil para Aluminio

4.4.1 Comparación entre soldar con electrodo revestido en diferentes polaridades. Prueba 7 y Prueba 8.

Este análisis comparativo surge de la multitud de opiniones dispares que se encuentran al leer diferentes estudios, artículos y trabajos, acerca que tipo de polaridad emplear cuando se está trabajando con corriente continua. Algunos autores y organismos dicen que se obtiene mayor penetración con polaridad inversa y otros todo lo contrario, es por eso que en la parte práctica de este trabajo se han comparado los cordones de soldadura realizados en las mismas condiciones y parámetros, pero con la única diferencia de que se han empleado polaridades distintas.

Las probetas que se compararán son las obtenidas de las pruebas 7 y 8. En ambas pruebas se unen dos probetas de acero al carbono, de las mismas dimensiones 100x50x5, con la misma intensidad 100 A, mismo voltaje 24,1 V y el mismo tipo de electrodo de rutilo E6013 con diámetros de 3,2 mm.

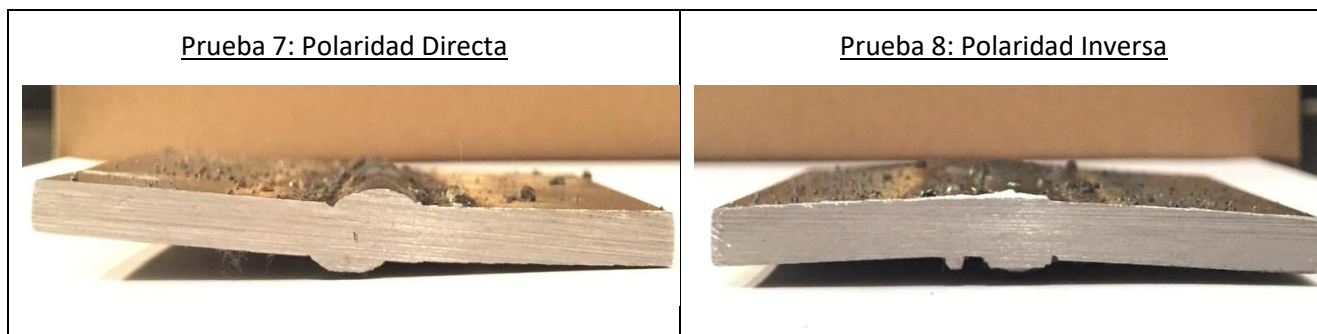


Figura 62. Fotografías del corte transversal de las probetas 7 y 8. Fuente: Propia.

En la figura anterior se puede apreciar perfectamente como con polaridad directa obtenemos cordones más abultados, si lo comparamos con la prueba 8 de polaridad inversa, en la que se ven unos cordones más planos.

Empleando polaridad inversa se generaron más proyecciones que con la polaridad directa.

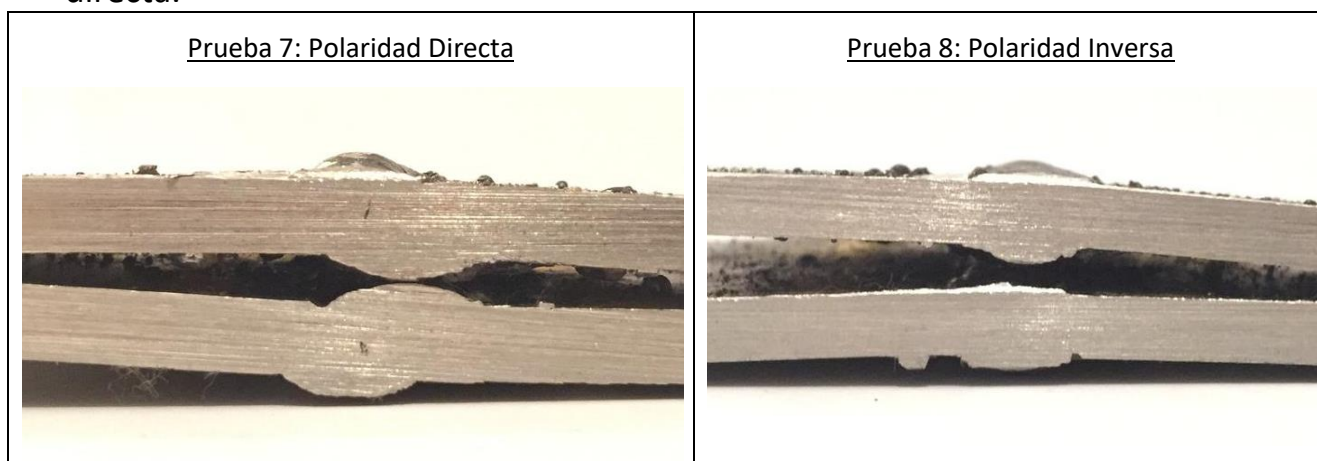


Figura 63. Fotografías de ambos cortes de cada probeta ampliados. Fuente: Propia.

En la figura 63, aparecen aumentadas, las dos partes del corte transversal realizado a cada probeta. En el centro de cada una de las partes de la prueba 7, se ve una muesca, una pequeña discontinuidad del tamaño de un grano de sal, en cambio en las partes de la prueba 8 no aparece nada.

Esta discontinuidad se debe a una pequeña falta de penetración, que podría estar ocasionada a una falta de aporte de calor, una velocidad elevada, una intensidad demasiado baja. Pero teniendo en cuenta que las dos pruebas se han realizado en las mismas condiciones salvo la polaridad, se relaciona este factor con la falta de penetración, por lo tanto, la polaridad inversa, según las pruebas realizadas en este trabajo, tiene mayor penetración que la polaridad directa.

4.4.2 Comparación de la misma soldadura realizada por un profesional y un iniciado. Pruebas 6 y Prueba 12.

Una comparación interesante, es la de cómo afecta en el resultado final de la soldadura, ya sea en cuanto a calidad y precio total de realizarla, que la misma soldadura sea realizada por un soldador profesional o por una persona inexperta.

Las pruebas 6 y 12 se han realizado en las mismas condiciones, ambas se realizan con el proceso de electrodo revestido, se unen probetas de acero al carbono de las mismas dimensiones 100x50x5 mm, en corriente continua y polaridad directa, con la misma intensidad de 80 A y un voltaje de 22 V y el mismo tipo de electrodos revestido que son los de rutilo E6013 con un diámetro de 2,5 mm.

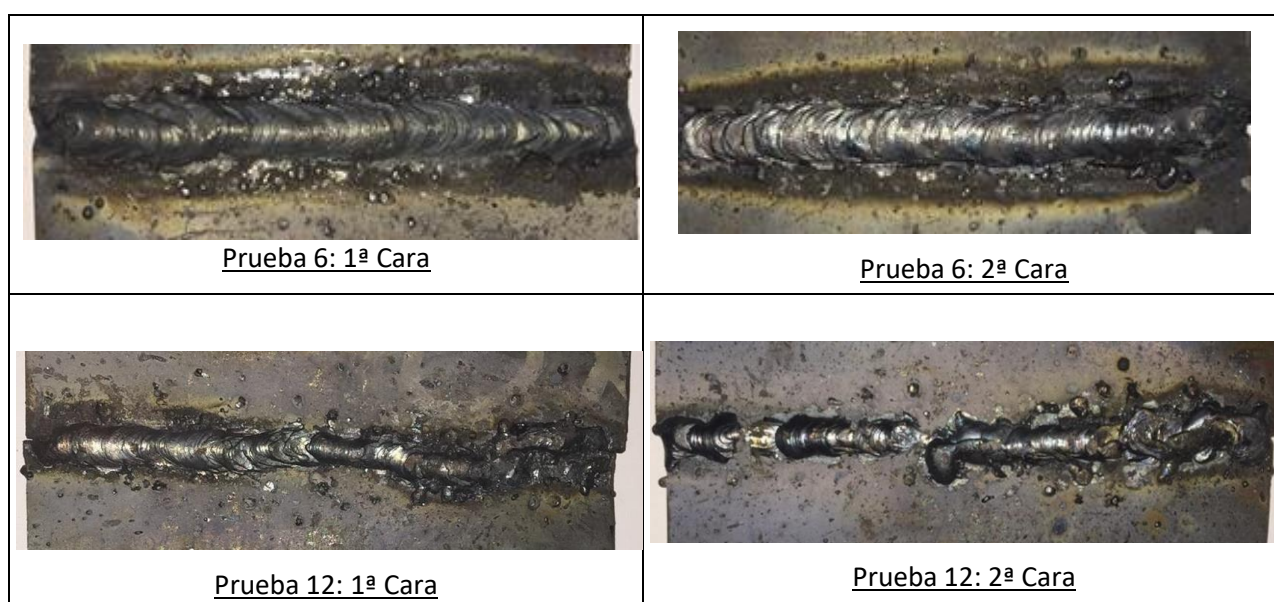


Figura 64. Fotografías de los cordones de soldadura por ambas caras de las pruebas 6 y 12. Fuente: Propia.

A simple vista, en las fotografías anteriores se puede apreciar claramente la diferencia entre un cordón y otro. El cordón de la prueba 6 realizado por un soldador profesional, es más ancho, sigue la misma dirección todo el tiempo, y no tiene discontinuidades ya que permanece uniforme tanto de ancho como de alto. Las proyecciones generadas son de un tamaño pequeño y se mantienen bastante cerca del cordón de soldadura.

En los cordones de la prueba 12, se puede ver como no siguen una línea recta, no son uniformes en cuanto a anchura y altura, son muy irregulares. Además, se generan un montón de proyecciones y muy alejadas del cordón.



Figura 65. Fotografías transversales de las probetas, donde se aprecia la inclinación. Fuente: Propia.

También se puede observar que entre las dos piezas que forman probeta, en la realizada por el soldador profesional no hay deformación angular entre ellas manteniéndose rectas. En la realizada por un soldador inexperienced se puede apreciar una deformación angular entre las dos piezas. Esto se debe a las discontinuidades en el cordón, a una falta de fusión o a un sobrecalentamiento en alguna de las caras.

Además, en la prueba 12 hay claros signos de falta de penetración debidos a la discontinuidad en el cordón.

Los tiempos obtenidos en ambas pruebas son muy similares, siendo de 98 y 91 segundos en las pruebas 6 y 12 respectivamente, el material aportado también es el mismo ya que se han consumido un electrodo revestido y medio en ambas pruebas, lo que hace que el precio de realizar la soldadura sea muy similar rondando los 40 €, pero el resultado final es mucho mejor el de la prueba 6 realizada por un profesional.

4.5 Análisis económico.

4.5.1. Costes de soldadura.

Gastos comunes en todos los procesos:

El primer costo a analizar es uno de los más importantes en cuanto al precio final de la soldadura, no es nada menos que el precio de la mano de obra. ¿Cuánto cobra un soldador en España? Según la web de búsqueda de empleo Indeed²⁰ gracias a la media obtenida de 35 empresas con las que ofertan trabajo en los últimos 36 meses a principios de diciembre de 2019 el salario medio de un soldador era de 1915€ mensuales lo deja unos **12€** por hora de media.

El siguiente coste que comparten todos los procesos es el eléctrico. El coste eléctrico se calcula con la fórmula de la potencia eléctrica $P = A \cdot V$ en kW, una vez conseguida la potencia, se multiplica por las horas de uso para obtener los kW/h y finalmente se multiplican por el precio del kW/h para saber el coste eléctrico de la soldadura. Gracias a una web²¹ comparadora de precios se ha seleccionado el precio de kW/h más caro, en hora punta, que será el utilizado **0,25€/h**.

TIG:

La botella de gas Argón de 50 Litros a 200bars según el presupuesto hecho por la empresa *GD aparatos*²², especializada en la suministración de gas, vale 183,75€.

El caudal empleado durante la soldadura ha sido de 8L/m. Esto significa que el coste de gas por hora es de: $P1 \cdot V1 = P2 \cdot V2 \Rightarrow V2 = 50 \cdot 200 = 10.000L$.

Tenemos 10.000L a 1bar si el caudal son 8L/m tenemos 20.83horas de gas, lo que nos deja €/h = $183,73/20,83 = \mathbf{8,82€}$ la hora de gas Ar

-Varillas:

La empresa *Soldaman*²³ dio el presupuesto de las varillas de aportación se venden en packs de 5 kilos. El peso de una varilla da 16 gramos, entonces en 5 kilos hay $5/0,016 = 312$ varillas de $\varnothing 1,6mm$ y 1000mm de longitud.

5Kg varillas 316L vale 50,57€ si hay 312 el precio unidad es $50,57/312 = \mathbf{0,16€/u.}$

5Kg varillas 309L vale 55,84€ si hay 312 el precio unidad es $55,84/312 = \mathbf{0,18€/u.}$

5Kg varillas acero valen 39,2€ si hay 312 el precio unidad es $39,2/312 = \mathbf{0,12€/u.}$

MAG:

La botella de gas Ar+CO₂ de 50L a 200bars, ya sea con un porcentaje de CO₂ del 8% o el 2% la empresa *GD aparatos* la suministran al mismo precio de 108,5€.

El caudal empleado durante la soldadura ha sido de 12L/m y sabemos que a presión atmosférica tenemos 10.000L, nos durara 13,88 horas el gas. Lo que si calculamos $\text{€/h} = 108,5/13,88 = \mathbf{7,81\text{€}}$ la hora de Ar+CO₂

-Bobinas:

Los precios de las bobinas se han obtenido de la tienda online de *Serecon*²⁴ que está especializada en suministros y equipamiento industrial.

Bobina Acero 1,2mm de 15kg, hay 55 metros por kg, bobinas de 825m y vale 20,15€, por lo que el €/m de hilo es de $20,15\text{€}/825\text{m} = \mathbf{0,024\text{€/m}}$ el hilo de acero.

Bobinas de inoxidable 316L y 309L de 1,2mm 15KG si son 54m/kg hay 810m el €/m de cada una es:

$$316\text{L} = 115\text{€}/810\text{m} = \mathbf{0,14\text{€/m}}$$

$$309\text{L} = 123,4\text{€}/810\text{m} = \mathbf{0,152\text{€/m}}$$

Electrodo Revestido:

El precio con el que se calcula el gasto en material, está basado en una comparativa de los electrodos disponibles en el mercado, se han elegido los mejores en cuanto calidad precio y se ha calculado el precio por unidad de cada tipo.

Electrodos E6013 2,5mm de la tienda *Bricomart*²⁵ $15,75\text{€}/250\text{u} = \mathbf{0,06\text{€/u.}}$

Electrodos E6013 3,2mm de la tienda *Bricomart*²⁶ $16,75\text{€}/175\text{u} = \mathbf{0,1\text{€/u.}}$

Electrodos 316L 2,5mm de Lincoln Electric en la web²⁷ $42\text{€}/90\text{u} = \mathbf{0,47\text{€/u.}}$

Electrodos 309L 2,5mm en Amazon²⁸ $19,99\text{€}/30\text{u} = \mathbf{0,66\text{€/u.}}$

Electrodos alto rendimiento 7024 web ferrovicmar²⁹ $45,8\text{€}/75\text{u} = \mathbf{0,61\text{€/u.}}$

4.5.2. Gasto total en soldar 10 metros, proceso TIG.

En la siguiente hoja de cálculo (Tabla 44) aparecen todos los factores que afectan en el precio final de la soldadura TIG. En este caso se calcula como si se fuera a soldar 10 metros por ambas caras, teniendo como referencia las pruebas realizadas anteriormente con las probetas de 10 cm de largo.

Tabla 44. Factores para el cálculo del precio final TIG. Fuente: Propia

Prueba	1	2		
Tiempo(s)	85	75		
Varillas empleadas	0,5	0,5		
Potencia (Kw)	2,05	2,45		2,2
Coste varillas	0,16	0,18		0,12
Coste Ar/h	8,82	8,82		8,82
Coste Soldador €/h	12	12		12
Coste Kw/h	0,25	0,25		0,25
Calculo gasto por 10 m				
Prueba	1	2		Acero Media
Tiempo (s)	8500	7500		8000
Tiempo (h)	2,36	2,08		2,22
Varillas empleadas	50	50		50
Consumo (Kw/h)	4,838	5,096		4,89
Coste varillas	0,16	0,18		0,12
Coste Ar/h	8,82	8,82		8,82
Coste Soldador €/h	12	12		12
Coste Kw/h	0,25	0,25		0,25
Coste Personal	28,32	24,96		26,67
Coste Material	28,82	27,35		25,6
Coste Electrico	1,21	1,27		1,22
Coste Total 10m	58,34	53,58		53,49

Al no realizarse una prueba con acero, ya que no es habitual en este tipo de proceso y no tendría sentido utilizar un gas tan caro en una soldadura de bajas prestaciones. Se ha hecho una media lo más ajustada a la realidad para poder tener una comparación con los otros procesos también en acero al carbono.

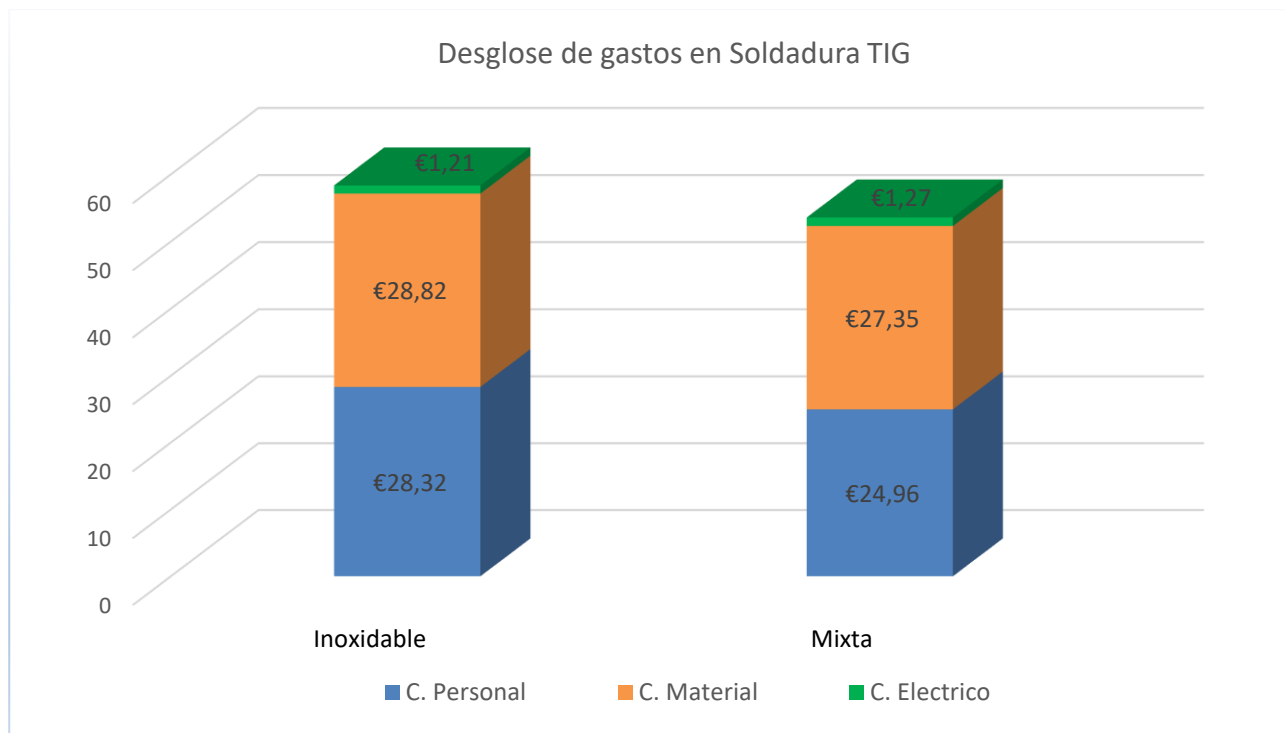


Figura 66. Desglose del precio en Soldadura TIG. Fuente: Propia

En el gráfico se puede apreciar que el gasto eléctrico es muy bajo, cercano al 2%, tanto que casi es irrelevante en comparación con el gasto en personal y material que casualmente son muy similares en ambas soldaduras suponiendo cada uno alrededor de un 49% del coste total.

También se puede ver que la diferencia de precio es mínima al soldar acero inoxidable, en comparación a soldar una pieza de acero inoxidable con otra de acero al carbono. Esto se debe a que el tiempo invertido para realizar la soldadura es muy similar por lo tanto el precio de mano de obra también lo será.

El coste de material también es muy parecido puesto que en las dos uniones se utiliza como gas de protección el Argón con el mismo caudal y el número de varillas de aportación necesarias es el mismo, así que la única variación que hay es que el precio de las varillas que varía ligeramente.

4.5.3. Gasto total en soldar 10 metros, proceso MAG.

Del mismo modo que con la soldadura TIG, esta hoja de cálculo desglosa todos los factores necesarios en MAG para poder calcular el gasto para soldar 10 metros, gracias a la extrapolación de los datos conseguidos durante las pruebas.

Para este proceso se analizan las soldaduras en acero, acero inoxidable y acero con acero inoxidable.

Tabla 45. Factores para el cálculo del precio final MAG. Fuente: Propia

Prueba	3	4	5
Tiempo(s)	18	22	22
Velocidad hilo (m/min)	5,4	4,5	4,8
Potencia (Kw)	3,1	2,42	2,73
Coste Gas /h	7,81	7,81	7,81
Coste metro hilo	0,024	0,14	0,152
Coste Soldador €/h	12	12	12
Coste Kw/h	0,25	0,25	0,25
Calculo gasto por 10m			
Prueba	3	4	5
Tiempo (s)	1800	2200	2200
Tiempo (h)	0,5	0,61	0,61
Metros hilo empleado	162	166,5	176
Consumo (Kw/h)	1,552	1,48	1,66
Coste Gas /h	7,81	7,81	7,81
Coste metro hilo	0,024	0,14	0,152
Coste Soldador €/h	12	12	12
Coste Kw/h	0,25	0,25	0,25
Coste Personal	6	7,32	7,32
Coste Material	7,79	28,07	31,52
Coste Electrico	0,39	0,37	0,415
Coste Total 10m	14,18	35,76	38,84

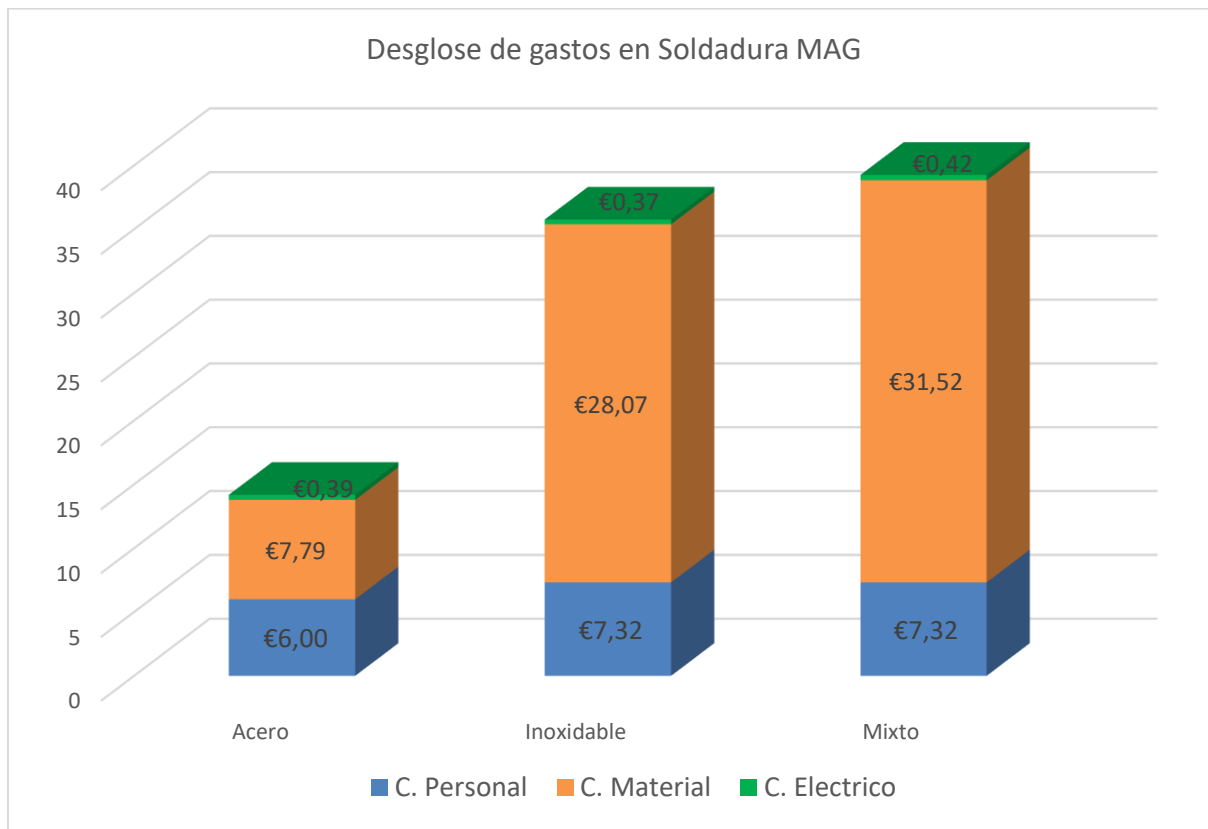


Figura 67. Desglose del precio en Soldadura MAG. Fuente: Propia

En el desglose del gasto total podemos apreciar que del mismo modo que en la soldadura TIG, el gasto eléctrico sigue siendo muy pequeño y en este caso aún menor que en el anterior.

Al realizar las soldaduras en un tiempo mucho menor, 4 veces más rápido que en la soldadura TIG aproximadamente, el coste en personal se reduce muchísimo.

En la parte de los materiales es donde se ve un gran cambio de precios, aunque en todas las soldaduras el caudal es el mismo y el gas empleado tenga el mismo valor, lo que realmente marcará la diferencia en el precio final, es en el coste de las bobinas de hilo, ya que las bobinas de acero tienen un precio bastante bajo, pero cuando se emplea inoxidable o 309L el precio por metro de hilo se multiplica por 6.

4.5.4. Gasto total en soldar 10 metros, proceso SMAW.

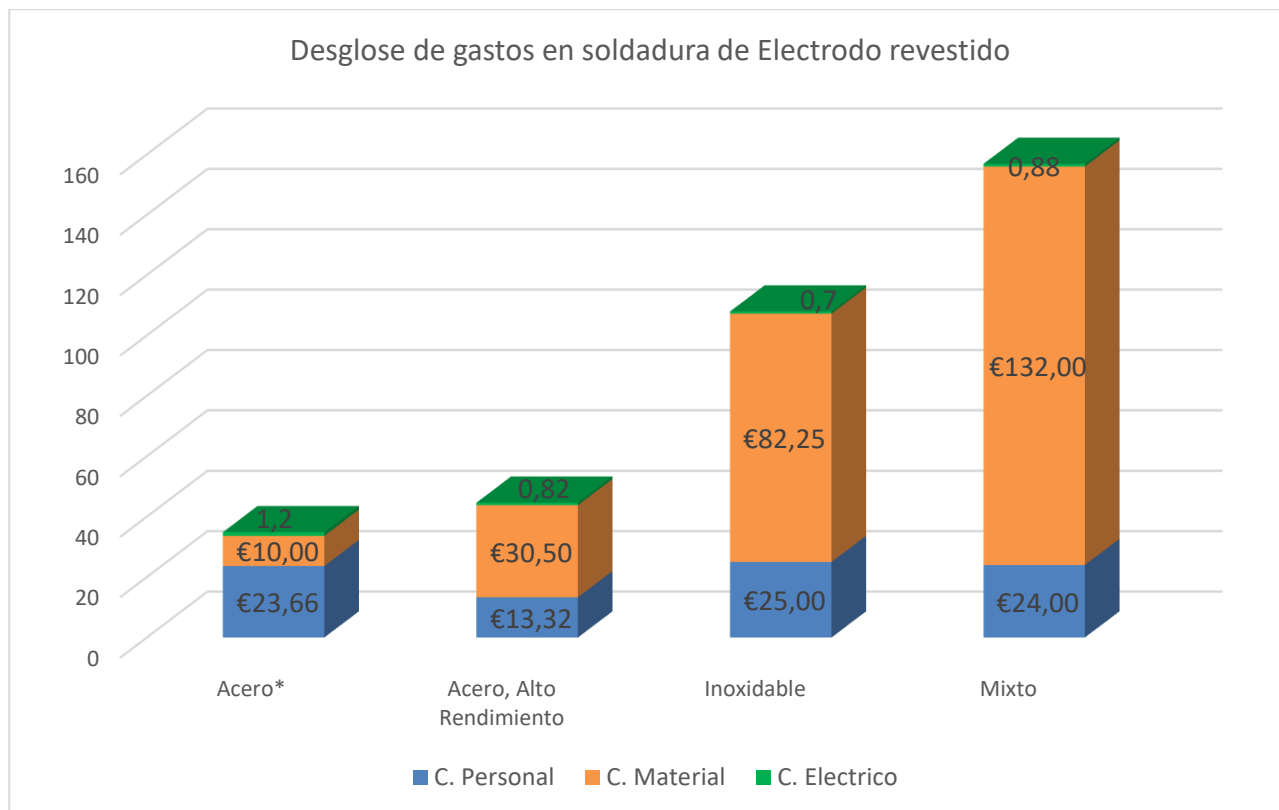
En la siguiente hoja de cálculo, se aprecia el desglose de los factores necesarios para poder calcular el precio en soldar 10 metros con la extrapolación de datos obtenidos en las pruebas realizadas anteriormente.

Tabla 46. Factores para el cálculo del precio final Electrodo revestido. Fuente: Propia

Prueba	6	7	8	9	10	11	12
Tiempo (s)	98	71	70	75	72	40	91
Material	1,5	1	0,8	1,75	2	0,5	1,5
Potencia(Kw)	1,76	2,41	2,41	1,35	1,76	2,97	1,76
Coste Soldador €/h	12	12	12	12	12	12	12
Coste Kw/h	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Coste unidad electrodo	0,06	0,1	0,1	0,47	0,66	0,61	0,06
Calculo gasto por 10 m							
Prueba	6	7	8	9	10	11	12
Tiempo (s)	9800	7100	7000	7500	7200	4000	9100
Tiempo (h)	2,72	1,97	1,94	2,083	2	1,11	2,53
Material	150	100	80	175	200	50	150
Potencia(Kw)	1,76	2,41	2,41	1,35	1,76	2,97	1,76
Coste Soldador €/h	12	12	12	12	12	12	12
Coste Kw/h	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Coste unidad electrodo	0,06	0,1	0,1	0,47	0,66	0,61	0,06
Coste personal	32,64	23,66	23,33	25,00	24	13,32	30,36
Coste material	9	10	8	82,25	132	30,5	9
Coste electrico	1,20	1,19	1,17	0,70	0,88	0,82	1,11
Coste total 10m	42,84	34,85	32,50	107,95	156,88	44,64	40,47

En este proceso es en el que se han realizado más pruebas, puesto que es uno de los más extendidos y por la multitud de electrodos que se pueden emplear.

La parte más interesante de la hoja de cálculo es que se puede ver como los electrodos empleados son el factor determinante en el precio final de la soldadura, ya sea por su precio por unidad, por el numero empleado de ellos para realizar la unión, o por la velocidad con la que se puede trabajar con ellos por su aporte de material.



*La prueba con la que se analiza el acero es la numero 7, puesto que es la que tiene unos valores intermedios si comparamos las pruebas 6, 7 y 8.

Figura 68. Desglose del precio en Soldadura Electrodo revestido. Fuente: Propia

En cuanto a las pruebas realizadas del proceso de electrodo revestido, al ser con el que más se han realizado, se ha centrado este desglose en analizar las soldaduras de acero con electrodos E6013 de 3,2 mm, acero con electrodos de alto rendimiento, acero inoxidable y la unión de acero al carbono con inoxidable.

El gasto eléctrico vuelve a ser muy pequeño. En cuanto al coste de personal todos son muy similares ya que los tiempos varían muy poco con la excepción de los electrodos de alto rendimiento que reducen el tiempo a la mitad recortando así también el coste de mano de obra de manera significativa.

En cuanto al coste de material hay que tener en cuenta el precio unitario de los electrodos y el número de estos empleados. Se ve que el precio se dispara muchísimo al utilizar este proceso en acero inoxidable, esto es porque los electrodos son muy caros y se emplean muchos. Los electrodos de 309L son muy difíciles de encontrar y tienen poca demanda por eso su precio es tan elevado.

En cambio, los electrodos de alto rendimiento tienen un precio superior (0,61€) a los de 316L (0,47€), pero el precio final de la unión es inferior, esto se debe a que

no son necesarios tantos electrodos debido a su gran aporte de material y a que el tiempo empleado también es muy inferior, reduciendo los gastos.

4.5.5 Análisis conjunto.

En la siguiente figura aparecen los costes de las soldaduras separados por metales y proceso empleado, en ella se puede apreciar la diferencia de precio en soldar un mismo metal dependiendo del proceso elegido.

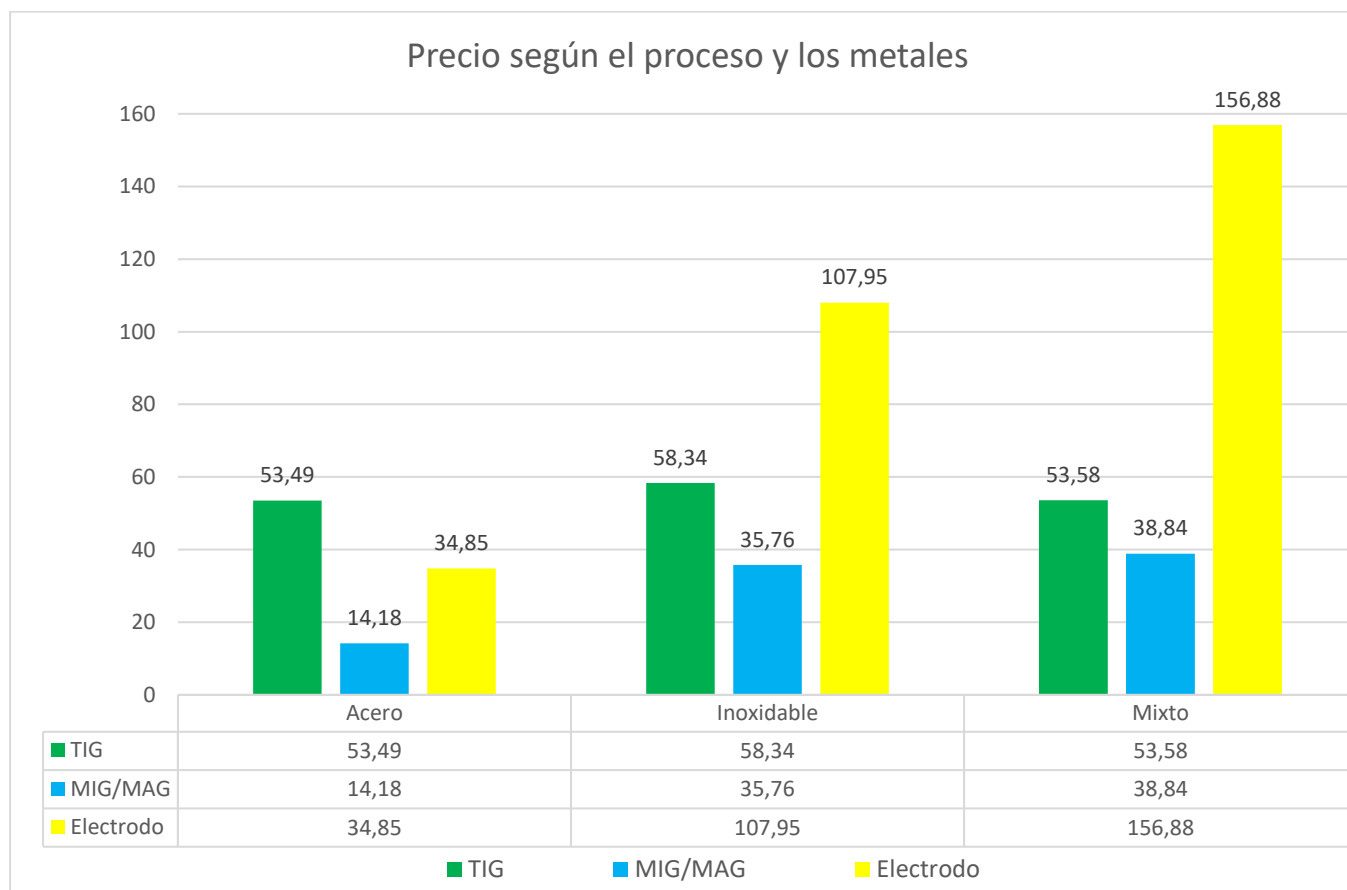


Figura 69. Costes por proceso y por metales, para soldar 10 metros. Fuente: Propia

Para la unión de acero el proceso TIG no es el más indicado teniendo en cuenta el tiempo empleado y el gasto en material, es por ello que no es muy empleado y como se ve es el proceso más caro de los 3 para realizar la unión en acero.

Cuando pasamos al inoxidable vemos que los precios aumentan, esto es debido a que el coste de material es mucho mayor en todos los casos. En electrodo aumenta muchísimo el precio final debido a que los electrodos revestidos tienen un precio muy elevado. En MAG el precio también se multiplica por 3 más o menos, también se debe al aumento en el precio de las bobinas de hilo. Finalmente, el precio de la unión con TIG solo aumenta levemente también unido al hecho de que las varillas de 316L son más caras que las de acero.

La soldadura entre acero al carbono y acero inoxidable como era previsible es la más cara de todas, debido a su rareza y su menor demanda hacen que los precios de los electrodos, varillas e hilo de 309L sea el más caro de todos. En el único que el precio se mantiene estable es en TIG, puesto que este proceso ya está pensado para soldaduras de más alta calidad.

En cuando al proceso MAG el precio tampoco aumenta demasiado en comparación con inoxidable, puesto que el tiempo y el gas empleados son idénticos, lo único que varía es el precio de la bobina y tampoco aumenta mucho.

Donde realmente se ve un aumento de precio considerable es en electrodo revestido. Aunque los tiempos son muy similares incluso menores a soldar inoxidable, el aumento de precio se debe a que el precio de los electrodos es muy superior y son necesarios más electrodos para realizar el mismo trabajo. Estas dos condiciones hacen que el precio no haga viable este proceso con fines productivos.

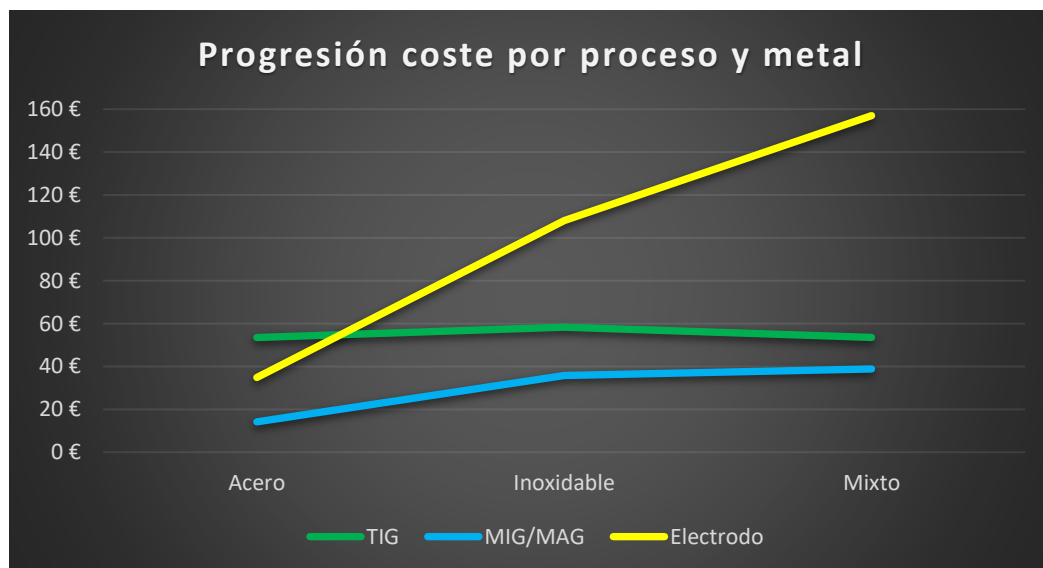


Figura 70. Progresión de costes por procesos según metales. Fuente: Propia

El proceso con los costes más bajos es MAG, esto se debe a que el tiempo empleado es muy pequeño reduciendo así la mano de obra y el precio del gas empleado, todo esto unido a que el precio del hilo al comprarlo en bobinas de 15 Kg también es muy competitivo, hace que el precio final se mantenga bajo.

En el caso de electrodo revestido, para soldar acero los precios aún son competitivos. Además, hay que tener en cuenta la simpleza y precio del equipo, cosa que se mantiene para las soldaduras con inoxidable y mixto, solamente incrementando el precio de los electrodos, hecho que dispara el precio final del proceso, pero que para un uso ocasional es una opción muy válida.

La soldadura TIG es muy estable en cuanto a precio y tiempo empleado. Para cualquier uso el precio y tiempo solo varían ligeramente. No es la mejor opción para soldar acero y menos si es en grandes cantidades y espesores. Para la soldadura con aceros inoxidables y mixtos en el que se necesite mucha precisión y calidad en los acabados esta es la mejor opción.

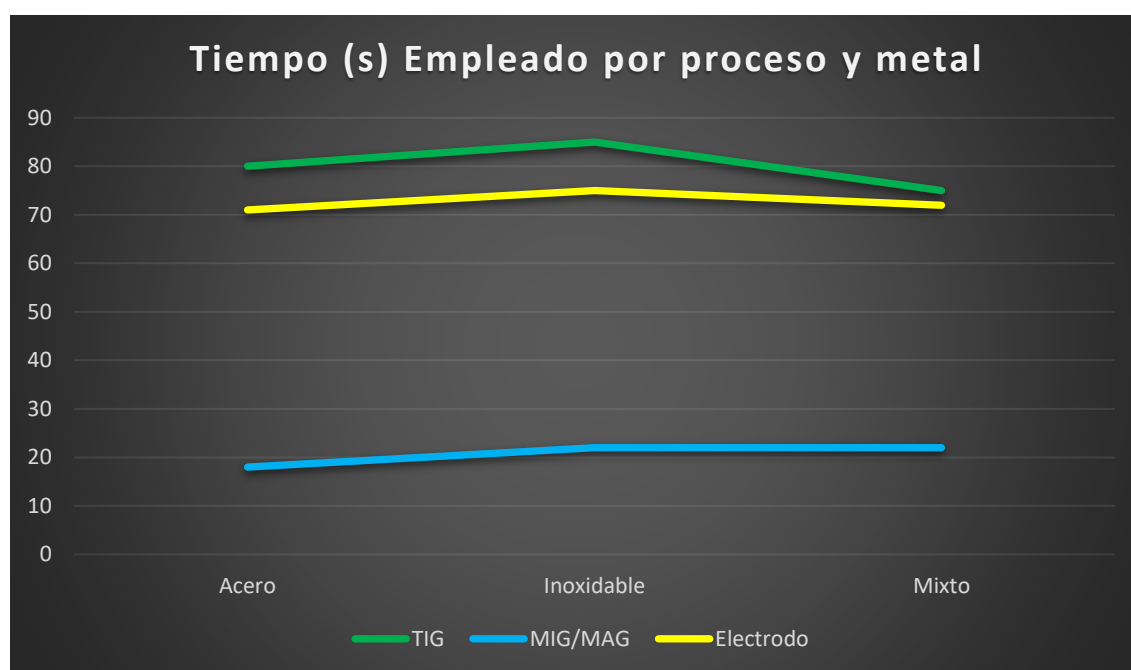


Figura 71. Progresión de tiempo invertido por proceso y metal. Fuente: Propia

Como se ha visto anteriormente el proceso que menos tiempo emplea independientemente del metal a soldar es el proceso MAG, necesitando alrededor de 4 veces menos tiempo para realizar la misma soldadura que TIG y electrodo revestido.

Las soldaduras realizadas con electrodo revestido son las segundas que emplean menor tiempo, aunque seguidas muy de cerca por las soldaduras con TIG.

Lo más destacable de la gráfica, es que en los tres procesos los tiempos son muy lineales y no hay mucha variación de tiempo dentro de un mismo proceso para soldar un metal u otro.

Capítulo 5. Conclusiones.

Conclusiones generales durante la elaboración del trabajo.

Una vez llegados a este punto, después de una parte teórica recopilando información necesaria para realizar las pruebas en unas condiciones más ajustadas a las normativas vigentes y a la realidad, se han podido extraer las siguientes conclusiones:

- Existen una **gran cantidad de procesos de soldeo**, con infinidad de parámetros a tener en cuenta, lo que puede llegar a complicar mucho la elección del método más adecuado en función a cada necesidad.
- En cuanto a la normativa existente, durante el trabajo se ha tenido que consultar **infinidad de normas ISO**, cada una de ellas enfocada a un aspecto diferente. La mayoría de estas normas resultan pesadas y muy repetitivas, además de estar derivando o haciendo referencia continuamente a otras, **complicando en exceso la búsqueda de información**.

Conclusiones de la parte práctica.

- **El proceso más barato para realizar soldaduras, independientemente del metal, es el proceso MIG/MAG.** Este proceso es el que las realiza en menos tiempo y con una relación calidad-precio-tiempo insuperable. Es por eso qué a nivel industrial, aunque el equipo sea complejo y tenga un precio elevado es el más rentable en términos de productividad.

Dicho esto, lo más importante es saber en qué condiciones se va realizar la soldadura y con qué fin. Cada proceso tiene sus puntos fuertes y débiles, dependiendo de ello es conveniente elegir un proceso u otro.

- De la **soldadura TIG** podemos extraer una conclusión muy clara, es un **proceso para realizar uniones de alta calidad y precisión con un aspecto exterior muy pulido**. Por ello se enfoca a la soldadura de aceros inoxidables. En el caso del acero al carbono para realizar las pasadas de raíz y continuar con otro proceso.

-
- **La soldadura por electrodo revestido mantiene un precio competitivo mientras se trabaje con acero al carbono**, en cuanto cambiamos a inoxidable u otros metales, los precios se disparan y existen procesos más económicos. No en vano es uno de **los procesos más extendidos**, teniendo en cuenta que el **equipo barato, sencillo** y con el que se puede trabajar en el exterior, esto junto con su **versatilidad** en cuanto a electrodos para soldar casi todo tipo de metales. Ello hace que sea una opción válida para realizar soldaduras a nivel particular, en la construcción o a pequeña escala industrial.
 - **El factor que más influye en el precio final de la soldadura, es el coste del material**. Por eso es necesario saber bien las necesidades de la misma y así emplear un proceso u otro, ya que si no se podría incurrir en gastos innecesarios. Además de eso hay que intentar **optimizar al máximo los recursos** no malgastando gas de protección, electrodos, dejar varillas a la mitad y otros consumibles. **Tener un buen proveedor de material y consumibles** es fundamental ya que una pequeña variación en el precio por unidad, incidirá en el coste del lote que afectará al precio final de la soldadura.
 - **El coste de mano de obra es otro factor básico para determinar el precio final** de la soldadura. En unos procesos tiene más importancia que en otros, siendo en el caso del TIG en el que esta variable más afecta al precio final. En caso del soldeo MIG/MAG la incidencia de la mano de obra es menor. Por ello cada vez **se busca automatizar más los procesos de soldadura para reducir al máximo dichos costes**. Si bien se ha de tener en cuenta que hay soldaduras que no pueden ser aun automatizadas, como procesos artesanales o ciertas posiciones a las que las maquinas todavía no pueden acceder.
 - Comparados con los otros costes estudiados durante las pruebas, el **eléctrico es el que menos influye en el precio final**, llegando a ser **casi residual**. Con el paso de los años se ha mejorado mucho la tecnología de las máquinas de soldadura obteniendo un gran rendimiento con un consumo de energía mucho menor que antiguamente. Este precio se puede llegar a reducir aún más si se implementa una buena estrategia energética, utilizando energías renovables y trabajando con tarifas que se ajusten a las necesidades de la producción pudiendo abaratar el precio del Kwh en más de un 50%.

Bibliografía

Libros:

-Germán Hernández Riesco. *Manual del soldador*. 18ª edición Madrid. Gráficas Rógar S.A: 2007. ISBN: 978-84-934316-2-4.

Trabajos, artículos:

-Trabajo final de Grado. José Martín Guivernau. *Procesos de soldadura aplicados en la construcción naval*. Universidad Politécnica de Cataluña, Facultad Náutica (2011) Barcelona.

Normas:

- **AWS A3.0:2001**, Norma de términos y definiciones de soldadura.
- **UNE-CEN/TR 14599:2006 IN**, Términos y definiciones para soldeo en relación con la Norma EN 1792.
- **UNE-EN ISO 4063:2011**, Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia. (ISO 4063:2009, versión corregida 2010-03-01).
- **UNE-EN ISO 45001:2018**, Sistemas de gestión de salud y seguridad en el trabajo. Requisitos y orientación para el uso.
- **UNE-EN ISO 9001:2015**, Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos (ISO 9001:2015).
- **UNE-EN ISO 14001:2015**, Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 14001:2015).
- **UNE-EN 169:2003**, Protección individual de los ojos. Filtros para soldadura y técnicas relacionadas. Especificaciones del coeficiente de transmisión (transmitancia) y uso recomendado.
- **UNE-EN ISO 11611:2018**, Ropa de protección utilizada durante el soldeo y procesos afines. (ISO 11611:2015)
- **UNE-EN 345/A1:1997**, Especificaciones del calzado de seguridad para uso profesional
- **UNE-EN 407:2005**, Guantes de protección contra riesgos térmicos (calor y/o fuego).
- **UNE-EN 12477:2002**, Guantes de protección para soldadores.
- **UNE-EN ISO 12237:2003**, Ventilación de edificios. Conductos. Resistencia y fugas de conductos circulares de chapa metálica
- **UNE-EN ISO 9606-1:2017**, Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros. (ISO 9606-1:2012 incluido Cor 1:2012 y Cor 2:2013)

-
- **UNE-EN IEC 60974-1:2018/A1:2019**, Equipos de soldadura eléctrica por arco. Parte 1: Fuentes de potencia para soldadura (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en mayo de 2019.)
 - **UNE-EN ISO 3581:2016**, Consumibles para el soldeo. Electrodo revestido para el soldeo manual por arco de aceros inoxidables y resistentes al calor. Clasificación. (ISO 3581:2016, Versión corregida 2017-11-01)
 - **UNE-EN ISO 2560:2010**, Consumibles para el soldeo. Electrodo recubierto para el soldeo manual al arco de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación. (ISO 2560:2009)
 - **UNE-EN ISO 14175:2009**, Consumibles para el soldeo. Gases de protección para el soldeo por fusión y procesos afines. (ISO 14175:2008)
 - **UNE-EN ISO 2553:2014**, Soldero y procesos afines. Representación simbólica en los planos. Uniones soldadas. (ISO 2553:2013).
 - **UNE-EN ISO 6947:2011**, Soldaduras. Posiciones de trabajo. Definición de los ángulos de pendiente y de rotación. (ISO 6947:2011)
 - **UNE-EN ISO 9692-1:2014**, Soldero y procesos afines. Tipos de preparación de uniones. Parte 1: Soldero por arco con electrodos revestidos, soldero por arco protegido con gas y electrodo de aporte, soldero por llama, soldero por arco con gas inerte y electrodo de wolframio y soldero por haz de alta energía de aceros. (ISO 9692-1:2013).

Páginas web:

- Ingemecanica. Tutorial Semanal nº 49 [en línea]. [Consulta: 3 junio 2019]. Disponible en: <<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn49.html>>
- Cesol. Wordpress. Acerca de Cesol [en línea]. [Consulta: 3 junio 2019]. Disponible en: <<http://cesol.es/wordpress/acerca-de-cesol/>>
- Pemigsa. Tipos de proceso de soldadura [en línea]. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: <<https://pemigsa.com.mx/tipos-proceso-soldadura>>
- Flickr. Usuario ISM9 [en línea]. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: <<https://www.flickr.com/photos/64469938@N05/with/5957544373/>>
- Blogs.IMF-Formacion. Prevención riesgos laborales [en línea]. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: <<https://blogs.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/sin-categoria/epis-trabajos-soldadura/>>
- Historiando. Edad de cobre [en línea]. [Consulta: 9 junio 2019]. Disponible en: <<https://www.historiando.org/edad-de-cobre/>>
- Everlast Generators. Welding Products [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <<https://www.everlastgenerators.com/>>
- GNC Caldereria. Quien invento la soldadura [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <<http://www.gnccaldereria.es/quien-invento-la-soldadura/>>

-
- Mercado Libre. Usuario el desapego, Producto lampara de nafta [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <<https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-760973586-antigua-lampara-de-soldar-a-nafta-ano-1930-ref369-JM>>
 - Personna Safety. Noticias. Consecuencias de soldar sin protección [en línea]. [Consulta: 20 junio 2019]. Disponible en: <<http://www.personna.es/noticias/consecuencias-de-soldar-sin-proteccion/>>
 - Gobierno de España. Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social. Estadísticas accidentes laborales [en línea]. [Consulta: 21 junio 2019]. Disponible en: <http://www.mitramiss.gob.es/es/estadisticas/monograficas_anuales/EAT/2018/index.htm>
 - CTMA Consultores. ISO 45001 seguridad y salud en el trabajo. [en línea]. [Consulta: 25 junio 2019]. Disponible en: <<https://ctmaconsultores.com/iso-45001-seguridad-y-salud-en-el-trabajo/>>
 - Grupo ACMS. ISO 45001 [en línea]. [Consulta: 25 junio 2019]. Disponible en: <<https://www.grupoacms.com/iso45001>>
 - Texfire. Protección para los soldadores [en línea]. [Consulta: 26 junio 2019]. Disponible en: <<https://texfire.net/blog/que-tipo-de-proteccion-existe-par-los-soldadores>>
 - ASEPAL. Guantes de protección para soldadores [en línea]. [Consulta: 26 junio 2019]. Disponible en: <<https://www.asepal.es/une-en-124772002-guantes-de-proteccion-para-soldadores>>
 - Tecnología Técnica. Tipos de uniones en soldadura [en línea]. [Consulta: 3 julio 2019]. Disponible en: <http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/soldaduraporarco/index%20soldadura%20por%20arco_archivos/Page809.htm>
 - Ingemecanica. Tutorial Semanal nº45 [en línea]. [Consulta: 3 julio 2019]. Disponible en: <<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html>>
 - Maquinas UDP. Soldadura [en línea]. [Consulta: 6 julio 2019]. Disponible en: <<https://maquinasudp.wordpress.com/soldadura/>>
 - ESAB. Proceso soldadura SMAW [en línea]. [Consulta: 17 julio 2019]. Disponible en: <<https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-smaw.cfm>>
 - ILMO. Soldadura TIG, MIG/MAG por puntos [en línea]. [Consulta: 15 septiembre 2019]. Disponible en: <<https://ilmo.es/soldadura-tig-mig-mag-por-puntos/>>
 - SCRIBD. Soldadura de estado sólido [en línea]. [Consulta: 15 septiembre 2019]. Disponible en: <<https://es.scribd.com/document/273956660/Soldadura-de-Estado-Solido>>
 - Monografías. Soldadura en estado solido [en línea]. [Consulta: 16 septiembre 2019]. Disponible en: <<https://www.monografias.com/docs/Soldaduras-En-Estado-S%C3%B3lido-P3BZXAGPCDG2Z>>
 - Ingenieriamecanicaymaas. Proceso de soldadura TIG [en línea]. [Consulta: 2 octubre junio 2019]. Disponible en: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/proceso-de-soldadura-tig.html>

-
- Ciencia Cierta. Esquema proceso GMAW [en línea]. [Consulta: 14 octubre 2019]. Disponible en: <<http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/27/una-mirada-a-la-inspeccion-visual-automatizada-para-la-deteccion-de-defectos-de-socavado-en-soldadura-mig/>>
 - Blogspot. Alberto Urquía, soldadura MIG/MAG [en línea]. [Consulta: 5 noviembre 2019]. Disponible en: <http://albertourquia.blogspot.com/2017/02/soldadura-migmag_20.html>
 - Ferriweld Burgos. Consumibles soldadura [en línea]. [Consulta: 9 noviembre 2019]. Disponible en: <<https://www.ferriweldburgos.es/pdf/consumibles-soldadura.pdf>>
 - JoseCarlosMonero. Tipos de transferencia por arco GMAW [en línea]. [Consulta: 18 diciembre 2019]. Disponible en: <<https://www.josecarlosmoreno.com/copia-de-defectos-en-uniones-soldad>>
 - SITASA. Familias gases industriales [en línea]. [Consulta: 18 diciembre 2019]. Disponible en: <http://www.catalogo.sitasa.com/familias/gases_industriales/01_8.pdf>

Busca de materiales:

- Indeed. Salario soldador en España [en línea]. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.indeed.es/cmp/Crit/salaries/soldador>²⁰ (Salario medio de un soldador en España a fecha de diciembre del 2019)
- Comparadorluz. Tarifas precio kwh [en línea]. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>²¹ (Precio kW/h en España en hora punta)
- GD Aparatos [en línea]. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: www.gdaparatos.com²² (Empresa suministradora de gas Ar y Ar+CO₂)
- Soldaman [en línea]. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: www.soldaman.com²³ (Empresa suministradora de varillas TIG)
- Tienda Serecon. Hilo de soldar [en línea]. [Consulta: 18 diciembre 2019]. Disponible en: www.tiendaserecon.com/soldadura/hilo-de-soldar²⁴ (Precios bobinas de hilo MIGMAG)
- Bricomart. Electrodo rutilo 2,5 mm [en línea]. [Consulta: 18 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.bricomart.es/250-electrodos-rutilo-2-5-mm-lincoln.html>²⁵ (Electrodos rutilo 2,5)
- Bricomart. Electrodo rutilo 3,2 mm [en línea]. [Consulta: 18 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.bricomart.es/175-electrodos-rutilo-3-25-mm-lincoln.html>²⁶ (Electrodos rutilo 3,2)
- Manomano. Electrodo 316L [en línea]. [Consulta: 19 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.manomano.es/p/electrodos-2-5mm-inox-c-90-120006-8646532>²⁷ (Electrodos 316L)
- Amazon. [en línea]. [Consulta: 19 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.amazon.es/Weldright-Inoxidable-Soldadura-Electrodos-Varillas/dp/B01M0JY9TC>²⁸ (Electrodos 309L-16)
- Ferrovicmar. Electrodo alto rendimiento [Consulta: 19 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.ferrovicmar.com/electrodo-gran-rendimiento-so-7024-cajas>²⁹ (Electrodos 7024)

Anexo 1: Glosario.

Alambre de soldeo: material de aportación obtenido por trefilado y suministrado generalmente enrollado, formando bobinas.

Ángulo bisel/Chañán: ángulo formado entre el borde recto preparado de una pieza y un plano perpendicular a la superficie de la misma.

Ángulo de trabajo: ángulo que mide la inclinación del electrodo con respecto al plano perpendicular que contiene el cordón de soldadura.

Arco eléctrico: descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión, o al aire libre.

Atmosfera protectora: entorno de gas protector, que rodea parcial o totalmente la pieza a soldar, cortar o proyectar térmicamente, con características controladas de composición química, punto de rocío, presión, etc. Ejemplos: gases inertes, hidrocarburos, hidrogeno, vacío, etc

Baño de metal fundido: estado líquido previo de una soldadura, que posteriormente solidificara para formar la unión.

Bisel: tipo de preparación de borde cortado oblicuamente, no en ángulo recto.

Boquilla de pistola: parte extrema de la pistola de soldar o cortar, por donde salen los gases.

Boquilla de pistola: parte extrema de la pistola de soldar o cortar, por donde salen los gases.

Cara de la soldadura: superficie final de la soldadura por el lado en que fue realizada.

Cualificación del procedimiento: conjunto de acciones tendentes a comprobar que las uniones soldadas, realizadas por un determinado procedimiento pueden cumplir unas normas específicas.

Cualificación del soldador: demostración de la habilidad de un soldador para realizar soldaduras cumpliendo normas establecidas.

Ciclo térmico: variaciones de la temperatura, entre límites determinados, a que se somete un producto en función del tiempo.

Conjunto soldado: grupo de piezas unidas mediante procesos de soldadura.

Cordón de soldadura: metal aportado en una pasada durante el proceso de soldadura.

CA (Corriente alterna): corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varían cíclicamente.

CC (Corriente continua): se refiere al flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de diferente potencial, que no cambia de sentido con el tiempo.

Corriente de soldadura: corriente eléctrica que circula por el circuito de soldadura durante la realización de una unión soldada. En la soldadura por resistencia se excluye este concepto.

Corte por arco: nombre genérico para procesos de corte, que funden los metales a cortar con el calor del arco eléctrico entre un electrodo y el metal base.

Corte por arco-aire: proceso de corte por arco, en el cual los metales son fundidos por el calor del arco eléctrico, que se establece entre el electrodo de un grafito y el metal a cortar. La parte fundida es expulsada por un chorro de aire a presión.

Corte por plasma: proceso de corte por arco que separa el metal, mediante la fusión de una zona localizada por un arco y expulsándose el metal fundido por la inyección a alta velocidad de un gas caliente e ionizado, que sale por el orificio de la tobera de corte.

Cráter: la depresión al final del cordón de soldadura o del baño de fusión. En el soldeo por arco.

Defecto: discontinuidad o discontinuidades que por si o por efecto acumulativo, pueden hacer que una pieza o producto no alcance las especificaciones o valores mínimos de aceptación.

Dimensión de la soldadura: medidas del cordón de soldadura, especificadas en función del tipo de unión.

Discontinuidad: interrupción en la estructura de una soldadura, falta de homogeneidad mecánica, metalúrgica o características físicas del material base o de la propia soldadura. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.

Ductilidad: es la habilidad de un material para deformarse antes de fracturarse. Es una característica muy importante en el diseño, ya que un material dúctil es usualmente muy resistente a cargas por impacto.

Dureza: mide la resistencia a la penetración sobre la superficie de un material, efectuada por un objeto duro.

Efecto Joule: fenómeno irreversible en el cual si por un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

Eje de una soldadura: línea a lo largo de la soldadura, perpendicular y en el centro geométrico de su sección recta.

Elasticidad: es la habilidad que tiene un material que ha sido deformado para volver a su estado y tamaño original, cuando cesa la acción que ha producido la deformación. Cuando el material se deforma permanentemente, de tal manera que no pueda volver a su estado original, se dice que ha pasado su límite elástico.

Electrodo de soldadura: componente del circuito de soldeo, a través del cual pasa la corriente al arco, a la escoria fundida o al metal base.

Electrodo de wolframio: electrodo empleado en el soldeo o corte por arco, que no produce aporte. Consiste en una varilla de metal fabricada con wolframio o aleaciones de este metal.

Electrodo revestido: varilla metálica recubierta de una capa exterior (recubrimiento), con partículas que forman escoria en el metal aportado por soldadura, con el objetivo de: protección de la atmosfera exterior, desoxidación, estabilización del arco, facilitar el soldeo en posiciones distintas a la horizontal y aportar elementos metálicos al cordón de soldadura.

Extremo libre del electrodo: longitud del electrodo comprendida entre el extremo de contacto con la boquilla y la parte extrema que se funde en el arco, en el soldeo bajo atmosfera protectora o en el soldeo por arco sumergido.

Factor de marcha: relación entre el tiempo de paso de corriente y la duración total del ciclo de trabajo de una máquina.

Falta de fusión: discontinuidad debida a que no ha llegado a fundir la superficie, del metal base o de los cordones precedentes, sobre la que se deposita el cordón.

Falta de penetración en la unión: penetración inferior a la específica en una unión.

Fundente: producto que se puede añadir durante el proceso de soldeo con la finalidad de proteger, limpiar, alear o modificar las características de mojado de las superficies.

Fragilidad: Es el opuesto de ductilidad. Un material frágil no tiene resistencia a cargas de impacto y se fractura con cargas estáticas sin previo aviso.

Galga de soldadura: dispositivo diseñado para verificar la dimensión y forma de las soldaduras.

Garganta efectiva: altura del triángulo inscrito en la sección del cordón de una soldadura en ángulo.

Gas de protección: gas utilizado para prevenir la contaminación de la soldadura por la atmosfera.

Grieta: discontinuidad plana de fractura, caracterizada por un extremo afilado y una relación alta entre longitud y anchura. Este tipo de defecto puede presentarse en el metal base, en el metal de soldadura o en la zona afectada y aflorar o no a la superficie.

Inclusión de escoria: material sólido, no metálico, atrapado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base.

Inserto consumible: metal de aportación, colocado antes de soldar, que se funde completamente en la raíz de la unión, convirtiéndose en parte de la misma.

Metal base: material que va a ser sometido a cualquier operación de soldeo, corte, etc.

Metal de aportación: material que se aporta en cualquier operación o proceso de soldeo.

Metal de soldadura: zona de la unión fundida durante el soldeo.

Metal depositado: metal de aportación añadido durante la operación de soldeo.

Mordedura: falta de metal en forma de hendidura, de extensión variable, situada a lo largo de los bordes de la soldadura.

Oxicorte: nombre genérico para procesos de corte, utilizados para separar o eliminar metales por medio de la reacción química del oxígeno con el metal base a temperaturas elevadas. En el caso de metales resistentes a la oxidación, la reacción viene facilitada por el empleo de un fundente o polvo metálico.

Pasada: cada una de las capas que se depositan para realizar una unión soldada con electrodo, soplete, pistola, haz de energía, etc.

Pistola: utensilio empleado en el soldeo para transferir la energía y eventualmente los gases de protección en los diferentes procedimientos de soldeo.

Plasma: gas que ha sido calentado hasta alcanzar, como mínimo, un grado de ionización parcial, que le permite conducir una corriente eléctrica.

Porosidad: cavidades formadas por una retención de gas durante la solidificación.

Post-calentamiento: aplicación de calor después de la operación de soldeo, proyección térmica o corte, con finalidad de eliminar tensiones o variar las estructuras metalográficas.

Precalentamiento: aplicación de calor al metal base inmediatamente antes de la operación de soldeo, proyección térmica o corte, para conseguir la temperatura óptima de trabajo.

Preparación de la unión: operación que consiste en preparar los bordes y disponerlos según el perfil que se va a dar a la unión.

Proyecciones: partículas metálicas, en forma de perlas, expulsadas durante el soldeo por fusión y que no forman parte del metal de soldadura.

Pulsación: periodo de tiempo durante el que actúa la corriente, de cualquier polaridad, a través del circuito de soldeo.

Raíz de soldadura: son los puntos, en una sección transversal, resultantes de la intersección de la parte posterior de la soldadura con las superficies del metal base.

Raíz de la unión: zona de la unión a soldar en las que las piezas a unir están más próximas. En una sección transversal, la raíz de la junta puede ser un punto, una línea o un área.

Recargue: deposición de un material de aportación sobre un metal base (substrato) para obtener las dimensiones o propiedades deseadas. Aplicación por soldeo, soldeo fuerte o proyección térmica de una capa de material a una superficie, para obtener las propiedades o dimensiones deseadas.

Recrecimiento: variante de recargue en el que el material se deposita para conseguir las dimensiones requeridas.

Secuencias de soldeo: orden de ejecución de las uniones o de los cordones en un conjunto soldado.

Soldabilidad: capacidad de un material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación impuestas a una determinada estructura diseñada adecuadamente y para funcionar satisfactoriamente en las condiciones de servicio previstas.

Soldador: persona que realiza el soldeo. Térmico genérico utilizado tanto para los soldadores manuales como para los operadores de soldeo.

Soldadura autógena: unión efectuada por fusión y sin aporte de material. No confundir con las soldaduras fuertes, blandas y soldaduras realizadas con soplete.

Soldadura en ángulo: soldadura para unir superficies que formen entre ellas un ángulo recto, aproximadamente, cuya sección transversal es sensiblemente triangular, y que se puede realizar en uniones a solape, en T, o en esquina.

Soldadura provisional: soldadura efectuada para sujetar una o varias piezas, de forma temporal, a un conjunto soldado para su manipulación o envío a obra.

Soldeo: acción de realizar una soldadura. Proceso de unión que origina la coalescencia de materiales calentándolos a temperatura adecuada, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión únicamente, y con o sin material de aportación.

Soldeo por rayo láser: proceso de soldeo que produce una coalescencia de los materiales con el calor obtenido por la aplicación de una radiación láser, que incide sobre la unión.

Soldeo en frío: soldeo en estado sólido en el que se emplea presión para producir una unión a temperatura ambiente con una deformación de mayor o menor grado en la soldadura. Véase soldeo por forja o soldeo por difusión.

Soldeo hacia adelante: técnica de soldeo, en la cual el electrodo o la pistola se dirige en el mismo sentido que el avance de la soldadura.

Soldeo hacia atrás: técnica de soldeo en la cual el electrodo o pistola se dirige en sentido contrario al de avance de la soldadura.

Soldeo MIG: término habitualmente utilizado para el soldeo semiautomático con gas inerte. Soldeo oxiacetilénico: proceso de soldeo oxigás que utiliza el acetileno como gas combustible. Este proceso se utiliza sin presión y con o sin metal de aportación.

Soldeo oxiacetilénico: soldeo oxigás que utiliza el acetileno como gas combustible. Este proceso se utiliza sin presión y con o sin metal de aportación.

Soldeo por arco: grupo de procesos de soldeo que producen la coalescencia de las piezas, mediante el calentamiento con un arco eléctrico. Estos procesos se utilizan con o sin aplicación de presión y con o sin metal de aportación.

Soldeo con arco con electrodo de wolframio: soldeo por arco eléctrico, en los que el arco se establece entre un electrodo de wolframio, no consumible, y el baño de fusión. Este proceso se utiliza con protección de gas y sin aplicación de presión y con o sin metal de aportación.

Soldeo por arco con electrodo revestido: proceso de soldeo por arco eléctrico, en el que el arco se establece entre el electrodo revestido y el baño de fusión. Este proceso se

utiliza con la protección producida por la descomposición del revestimiento del electrodo, sin aplicación de presión y con la adición de metal de aportación desde el electrodo.

Soldeo por arco con gas: soldeo con arco eléctrico, en los que el arco se establece entre un metal de aporte continuo consumible y el baño de fusión. Estos procesos se utilizan con la protección procedente de una fuente de gas externa y sin aplicación de presión.

Soldeo por arco con alambre caliente: variante del proceso de soldeo por fusión, en la que el alambre/electrodo se calienta por resistencia, mediante el paso de una corriente, mientras se aporta al baño de fusión.

Soldeo por arco con alambre tubular: proceso de soldeo por arco eléctrico, en el que el arco se establece entre un alambre/electrodo tubular continuo, consumible, y el baño de fusión. Este proceso se utiliza con la protección gaseosa producida por la descomposición del fundente contenido en el interior del electrodo tubular, con o sin protección adicional de una fuente externa de gas y sin la aplicación de presión.

Soldeo por arco con protección gaseosa: nombre genérico para designar los procesos de soldeo por electrogás, soldeo por arco con alambre tubular, soldeo por arco con gas, soldeo con arco con electrodo de tungsteno y soldeo por arco plasma.

Soldeo por arco plasma: proceso de soldeo por arco eléctrico que utiliza un arco constreñido entre un electrodo no consumible y el baño de fusión (arco transferido), o entre el electrodo y la boquilla constrictora (arco no transferido). La protección de gas ionizado, suministrado por la pistola, puede complementarse por una fuente auxiliar de gas protector. El proceso se utiliza sin aplicación de presión y con o sin metal de aportación.

Soldeo por arco pulsado: variante del proceso de soldeo por arco, donde la intensidad de corriente se programa por pulsos periódicos, de forma que pueden utilizarse grandes impulsos de corta duración.

Soldeo por difusión: proceso de soldeo en estado sólido que produce la unión mediante la aplicación de presión a temperatura elevada sin deformación aparente o desplazamiento relativo de las piezas. Puede efectuarse intercalando un metal de aporte entre las superficies a unir.

Soldeo por electrogás: proceso de soldeo por arco, que se establece entre un electrodo de aportación continua y el baño fundido. La soldadura se realiza en vertical ascendente, utilizando unos soportes para la retención del baño. El proceso se realiza con o sin gas de protección y sin aplicación de presión.

Soldeo por haz de electrones: proceso de soldeo por fusión, en el que la energía para producir la coalescencia de los metales procede de un haz concentrado de electrones a alta velocidad que incide sobre la unión. Este proceso se puede usar con o sin gas de protección y sin aplicación de presión.

Soldeo por resistencia: procesos de soldeo que producen una fusión en la intercara de las piezas a unir, mediante el calor que se produce por el paso de la corriente de soldeo a través de las superficies de contacto y la aplicación de presión durante el proceso.

Soldeo semiautomático por arco: proceso de unión por arco en el que uno o más parámetros se controlan automáticamente. El avance del soldeo se controla manualmente. Término generalmente usado para el MIG, MAG Y CO₂.

Soldeo TIG: término no normalizado para el soldeo por arco con electrodo de wolframio y gas inerte.

Soplete: instrumento que permite dirigir una llama de la forma, potencia y propiedades requeridas, a partir de la combustión de un gas.

Soplete de corte: dispositivo empleado para orientar la llama de precalentamiento producida por una combustión controlada de gases para dirigir y controlar el corte por oxígeno.

Soplo magnético del arco: desviación no deseable de la trayectoria del arco, provocada por fuerzas electromagnéticas.

Temperatura de precalentamiento: temperatura que debe alcanzar el metal base inmediatamente antes que se inicie cualquier proceso de soldeo

Temperatura entre pasadas: en el caso de soldeo con pasadas múltiples, es la temperatura a la que debe estar el área que se va a soldar antes de realizar la siguiente pasada.

TIG pulsado: término utilizado habitualmente para designar el proceso de soldeo por arco pulsado con electrodo de wolframio y gas inerte.

Toma de tierra: conexión eléctrica de la carcasa de la máquina de soldeo a tierra para seguridad.

Tratamiento térmico: operación, o sucesión de operaciones, mediante la cual un producto en estado sólido se somete, parcialmente o en su totalidad, a uno o varios ciclos térmicos para obtener un cambio de sus propiedades o de su estructura.

Tenacidad: es la propiedad de resistencia a la ruptura por un esfuerzo de tensión.

Unión: espacio, a rellenar de metal aportado, entre dos piezas cuyos bordes han sido

preparados convenientemente para tal fin. Por extensión: el resultado de la operación de soldeo.

Unión a tope: conjunto soldado en el que las piezas están alineadas aproximadamente en el mismo plano.

Unión de solape: soldadura entre dos piezas que están superpuestas en planos paralelos.

Unión en T: soldadura entre dos piezas, en el que el borde de una es aproximadamente perpendicular a la superficie de la otra, en las proximidades de la unión.

Unión soldada en ángulo: soldadura entre dos superficies que forman un ángulo, en una unión a solape, en forma de T o en ángulo, y de sección transversal aproximadamente triangular.

Zona afectada térmicamente: porción del metal base que no ha fundido, pero cuya micro estructura o propiedades mecánicas han sido alteradas por el calor.

Zona de fusión: área del metal base fundido, determinada sobre la sección transversal de una soldadura.